# COUSTEAU

## ENCICLOPEDIA DEL MAR

12



folio





# COUSTEAU

## ENCICLOPEDIA DEL MAR

## 12



# COUSTEAU

## ENCICLOPEDIA DEL MAR

## 12

folio

**Dirección editorial:** Julián Viñuales Solé

**Asesores científicos:** Serge Bertino, Rhodes W.Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

**Traducción:** Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

**Coordinación editorial:** Julián Viñuales Lorenzo

**Coordinación técnica:** Pilar Mora

**Coordinación de producción:** Miguel Angel Roig

**Diseño cubierta:** STV Disseny

**Publicado por :**
Ediciones Folio, S.A.
Muntaner, 371-373
08021 Barcelona



De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar.*

Distribución exclusiva para España y América:
Editorial Rombo, S.A.

ISBN: 84-7583-505-8 (Volumen 12)
84-7583-530-9 (Obra completa)

Impresión: Gráficas Estella

Depósito Legal: NA. 1304-1993
*Printed in Spain*

# SUMARIO

## LOS ARRECIFES DEL PASADO



## APAREAMIENTO Y REPRODUCCIÓN



## EL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO



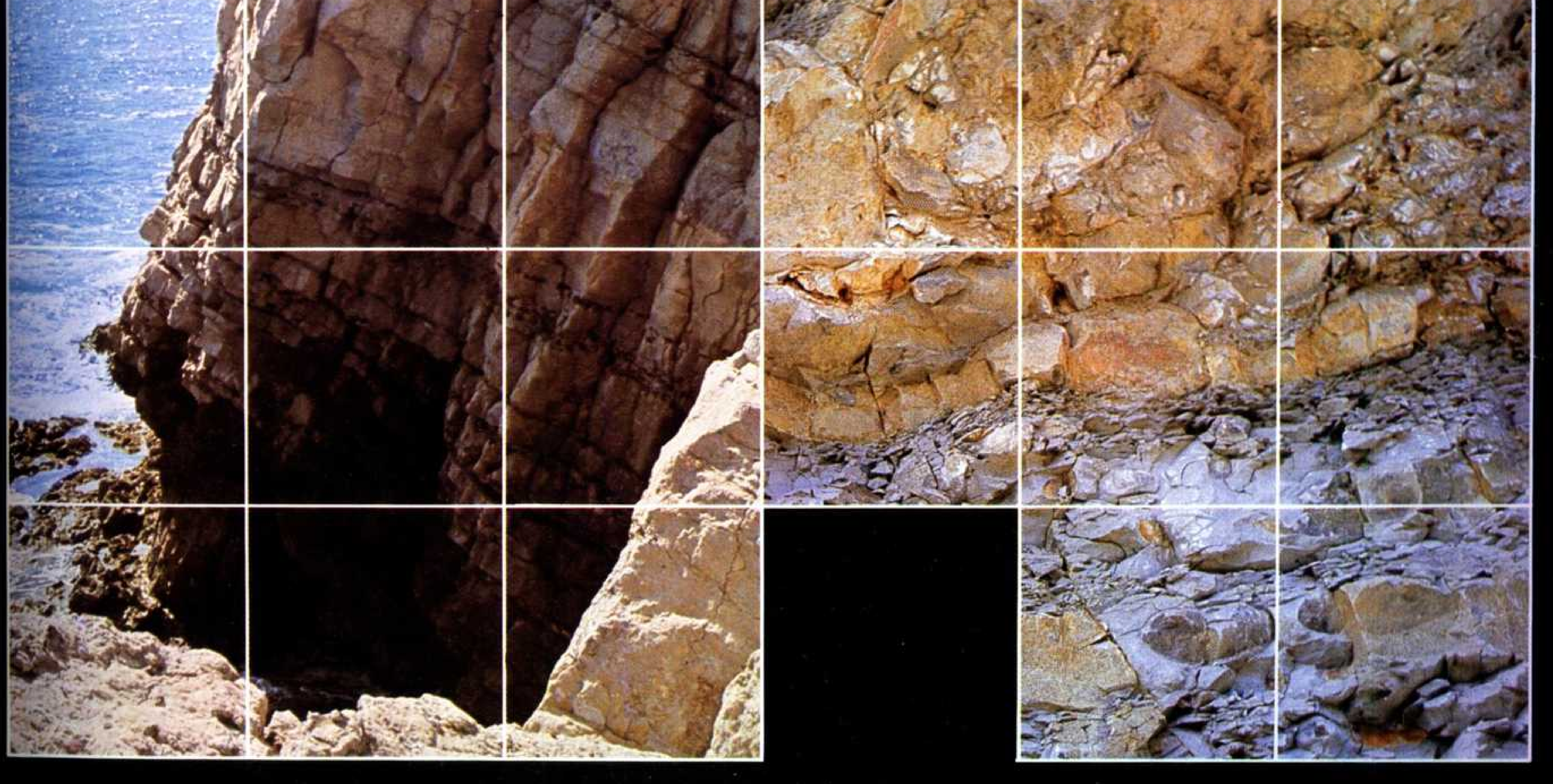
## DEFENSA Y AGRESIÓN



## RELACIONES DE SIMBIOSIS



# Los arrecifes del pasado

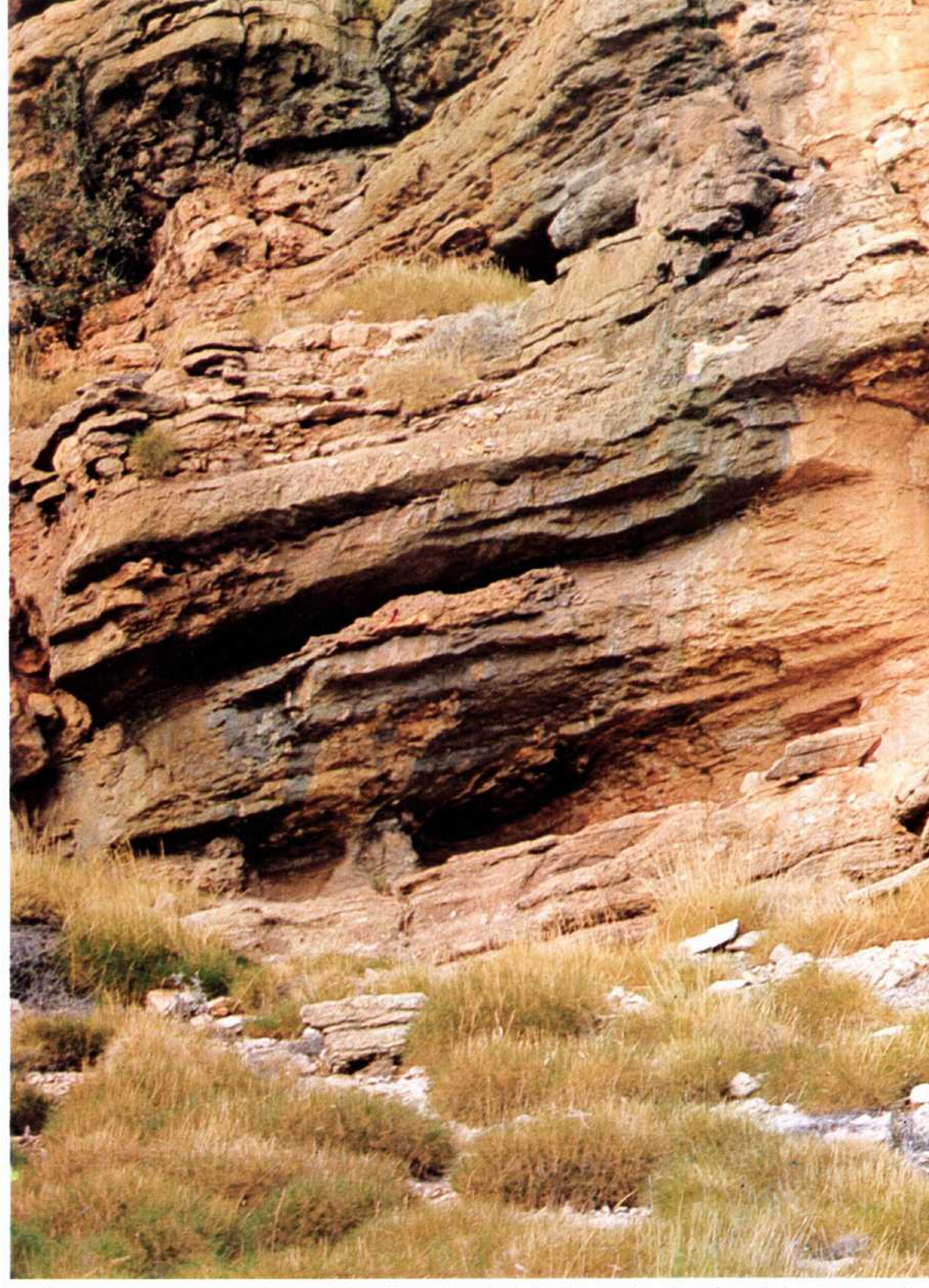


# Los biohermes y los biostromas

RESULTA sumamente agradable pasear sobre un arrecife de coral actual, nadar entre las cabezas de madréporas, admirar al pasar el esplendor y variedad infinita de las especies que pueblan este tipo de ecosistemas. Para el científico, en cambio, semejante paseo, a pesar del agrado que experimenta, le resulta un poco frustrante. La razón estriba en que el investigador necesita comprender su estructura, la composición interna de la realidad que estudia. En el arrecife moderno no distingue sino la superficie del edificio. Al explorar antiguos edificios coralinos, por el contrario, tiene la posibilidad de observar secciones de roca, cortes transversales, en especial en las laderas de las montañas y en los lugares donde los ríos han ejercido su acción erosiva. Ahora bien, es posible estudiar de esta manera arrecifes fósiles con más de 450 millones de años de antigüedad.

Todos los arrecifes antiguos se caracterizan por el mismo bosquejo paleoecológico. Se encuentran esencialmente en ellos los restos de un constructor colonial (que no es necesariamente, por lo demás, un animal del grupo de los corales) y, en torno de esta estructura rígida, restos de otros organismos que mantuvieron con los constructores relaciones ecológicas diversas (comensalismo, depredación, parasitismo, simbiosis). La gran obra del arrecife está hecha invariablemente de carbonato de calcio: este es el mineral que más fácilmente se sintetiza en los procesos naturales biológicos. Los restos de organismos muertos, desembarazados de sus partes blandas por los animales necrófagos y las bacterias, constituyen la base del edificio que no cesa de elevarse, generación tras generación, hasta formar una especie de castillo. Las partes de la construcción realizadas por los antiguos de la colonia protegen a las generaciones nuevas.

Hay que tomar en consideración un factor ecológico importante: los arrecifes en construcción o fósiles ofrecen un refugio a una gran variedad de organismos vivos que sin ellos no podrían sobrevivir en las zonas batidas por el oleaje y los temporales, y sometidas a una incesante erosión. A diferencia de los corales solitarios que pueblan los mares templados y fríos, a los corales constructores se les llama hermatípicos (significando *herma* «construcción» o «monumento» en latín). Como no todos los arrecifes antiguos han sido construidos por los corales (ni mucho menos), los especialistas han sentido la necesidad de forjar un concepto para agrupar a todos los fenómenos biológicos que consisten en construir de forma colonial. Y adoptaron en 1932 el de *bioherme*. Junto a las formas clásicas de los arrecifes antiguos, con aspecto de castillo, de cúpulas o de hongo, y que constituyen los biohermes, se encuentran colonias de animales fósiles extendidos como alfombras, y que reciben el nombre de *biostromas*. La distinción es importante. En los biohermes, la acción constructora de los organismos coloniales origina estructuras elevadas, contra las que rompe el oleaje aportando gran cantidad de residuos orgánicos. La parte de carbonato de calcio de estos residuos se recristaliza rápidamente, dando una caliza porosa. No ocurre lo mismo con los biostromas, que evolucionan en roca impermeable.



En el crecimiento geológico de los antiguos arrecifes, el proceso de recristalización se ve complicado por una particularidad de las moléculas de calcio. Unas cristalizan bajo forma de calcita (en el sistema ortorrómbico), las otras bajo forma de aragonita (en el sistema romboédrico). Ciertos organismos «prefieren» precipitar su carbonato de calcio bajo la primera forma, otros bajo la segunda. Las criaturas que fijan la aragonita viven en general en los mares cálidos. La mayoría de las plantas constructoras, como las algas *Halimeda,* precipitan en calcita. Pero en los mares cálidos, la estructura de los cristales de calcita se ve modificada por la presencia de magnesio, con el que la calcita forma una «solución sólida», y que entra a veces en la mezcla en una proporción del más del 30 por 100. La presencia de magnesio hace al mineral bastante inesta-



***En busca de los arrecifes antiguos.*** *En determinados lugares, los arrecifes del pasado afloran a la superficie de los continentes, cuando no han sido integrados a la masa de una cadena de montañas por grandes conturbaciones tectónicas. Estas formaciones interesan en el más alto grado a los geólogos. Son macizos calcáreos, pero se distinguen de las demás rocas de igual naturaleza por su ausencia de estratificación a pequeña escala. Su masa es muy compacta, muy unida, como se ve en la fotografía de esta doble página. Otro de sus elementos característicos es la presencia de fósiles de animales constructores: éstos dejaron rastros más o menos fácilmente interpretables. Con bastante frecuencia, no fueron corales, sino esponjas o moluscos lamelibranquios. Por su parte, las algas incrustantes juegan siempre su importante papel.*

ble, o más bien metaestable. Durante el proceso de litificación, que requiere a veces de miles de años, y con ayuda del agua en circulación, ese mismo mineral acaba por recristalizarse, y se transforma en calcita pura, relativamente dura. Cuando las mismas aguas intersticiales son ricas en magnesio, como esto se produce cerca de los depósitos de evaporitas, la recristalización da lugar a la formación de dolomita, que es un carbonato doble de calcio y de magnesio.
La dolomita es un material más duro y resistente que la caliza, como puede comprobarse al contemplar los magníficos paisajes de los Dolomitas, en el norte de Italia. Un factor favorece la dolomitización de los antiguos arrecifes: la porosidad de las masas calcáreas que lo componen. Esta porosidad aumenta en general con el paso del tiempo. La descomposición de las materias orgánicas y la acción prolongada de las olas acaban por crear alrededor del arrecife una especie de antepecho de detritos aglomerados en capas muy porosas.
Las partes del arrecife que se han dolomitizado se erigen hasta el presente, intactas o casi intactas, en espectaculares picos vertiginosos, mientras que la erosión ha excavado profundos valles en torno de ellos.
El agua de escurrimiento ha tallado cuanto estaba compuesto de caliza blanda y de esquistos, y que correspondía a la laguna primitiva.

# Estromatolitos y arqueociatos

Las algas unicelulares forman una alfombra viva en el seno de ciertos mares cálidos y poco profundos, en la zona de vaivén de las mareas el caso más típico, en este campo, es el de los *sabkhas* del golfo Arábigo-Pérsico. La consistencia aterciopelada de estas alfombras que cubren los fondos fangosos las hacen muy hermosas a la vista.

Como las algas se reproducen por escisión binaria, la estructura del conjunto es en pliegues. En los mares antiguos existían tales estructuras, cuyos rastros pueden observarse todavía. A estos edificios se los llama *estromatolitos*. Cada arruga, al principio del proceso mide de 10 a 20 metros aproximadamente, pero tiende a crecer. Uno de los mayores campos de estromatolitos modernos que se conoce es el de la bahía Shark, en Australia occidental: los montones de algas parecen vivir allí en condiciones parcialmente semejantes a las que reinaban en el Precámbrico. Cuando se descubrieron en el Canadá los primeros estromatolitos, se pensó que se trataba de fósiles de animales, y se les dio nombres científicos: *Cryptozoon, Gymnosolon, Collenia*. Hoy se sabe que no se trata de fósiles de especies zoológicas, sino de rastros, de improntas de plantas. Pero se les sigue dando el nombre colectivo de *Collenia*. Los estromatolitos más antiguos hasta ahora encontrados lo han sido no lejos de los jardines de algas actuales de la bahía Shark, a unos cientos de kilómetros de allí. Tienen unos 3.400 millones de años de antigüedad.

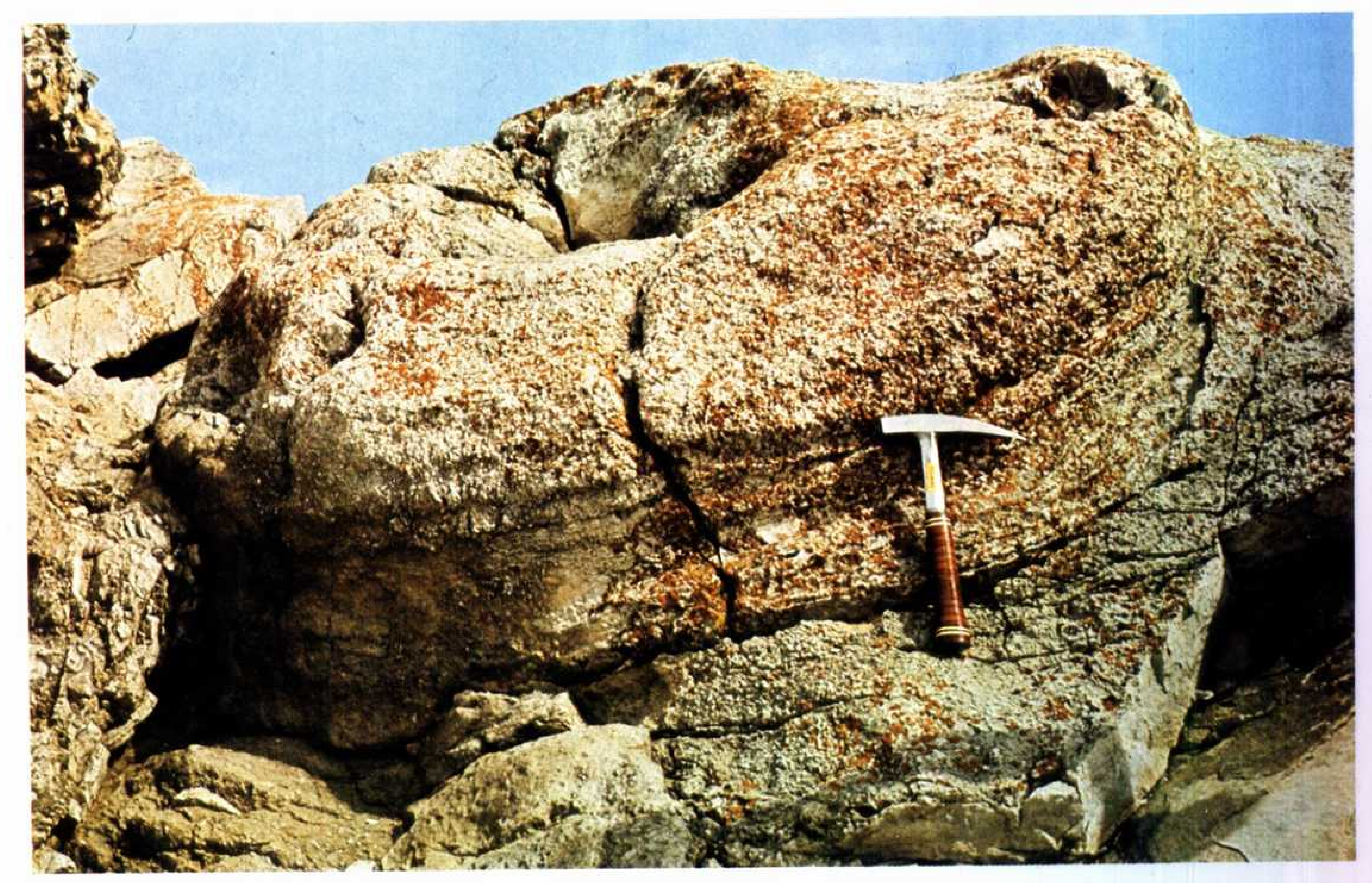
Gradualmente, en el curso del Precámbrico y al principio del Cámbrico, las condiciones ecológicas generales que reinaban en la Tierra (y especialmente la composición de la atmósfera) se tornaron favorables para la aparición de formas vegetales complejas, y sobre todo para la irrupción de la vida animal. Los primeros animales, desprovistos de partes duras, no han dejado fósiles identificables. A pesar de ello tenemos pruebas indirectas de que, desde el Precámbrico, un grupo zoológico relativamente cercano a las esponjas se desarrolló poderosamente: el de los *arqueociatos*. Estos, en todo caso, están atestiguados en el Cámbrico, que comenzó hace unos 570 millones de años. Construyeron entonces bancos macizos, con más de 150 metros de espesor a veces. Estas estructuras eran biostromas, más que biohermes, pero en ciertas regiones, como en las antiguas fronteras de las plataformas continentales de Australia y de Siberia, constituyeron auténticas y complejas barreras. Tales macizos se desarrollaron igualmente en otras zonas, en las inmediaciones del continente de la Antártida (situado entonces en una región climática más clemente que en nuestros días), en China y en el Canadá. Los arqueociatos tenían el aspecto de un cáliz semirrígido de doble pared, fijado al substrato por su base. El animal estaba atravesado por poros por donde podía entrar el agua, y sus células superficiales estaban provistas probablemente de cilios vibrátiles. Pero se ignora si estos cilios estaban sustentados por células tan diferenciadas como los coanociatos de los esponjiarios. Los arqueociatos medían 40 centímetros de diámetro por término medio, con una altura que alcanzaba unos 60 centímetros.



| | | | láminas convexas | láminas encapsuladas | láminas cónicas |
|---|---|---|---|---|---|
| ESTRATIFORMES | | | *Stratifera*, *Weedia*, *Gongylina*, *Irregularia* | | |
| NODULARES | | | *Nucleella*, *Colleniella* | *Osagia* | |
| BULBOSAS | | | *Cryptozoon* | | |
| EN COLUMNAS | COMPACTAS | | *Paniscollenia*, *Colonella* | | *Conophyton* |
| EN COLUMNAS | RAMIFICADAS | BIFIDAS Y EN UMBRELA | *Omachtenia*, *Kussiella*, *Boxona*, *Microstylus*, *Tenupalusella*, *Platella* | *Ottonosia*, *Collenia* | *Jacutophyton* |
| EN COLUMNAS | RAMIFICADAS | DIGITADAS | *Archaeozoon*, *Gymnosolen*, *Minjaria*, *Katavia*, *Patomia*, *Inzeria*, *Jerusania*, *Pitella* | | |
| EN COLUMNAS | RAMIFICADAS | DENDROIDES | *Anabaria*, *Svetliella*, *Vetella*, *Pseudokussiella*, *Kotuikania*, *Poludia*, *Linella*, *Baicalia*, *Turuchania*, *Tungussia* | | |
| EN COLUMNAS | RAMIFICADAS | ANASTOMOSADAS | *Parmites* | | |

En el Ordovícico, especialmente hacia la mitad de este período, hace unos 470 millones de años, comunidades mixtas de contructores comenzaron a edificar biohermes en la región de los Apalaches septentrionales, en el territorio de los actuales estados americanos de Nueva York y de Vermont. Un animal colonial llamado *Stromatopora* (del que no se sabe todavía si se trataba de una esponja o de un hidrozoo) elevó allí sus masivas estructuras, con una altitud de 10 a 40 centímetros y un diámetro que alcanzaba a veces los tres metros. Sobre estas bases, grandes briozoos incrustantes añadieron sus materiales y solidificaron los depósitos dejados por los braquiópodos, las esponjas y las algas calcáreas. Este auténtico bioherme, majestuoso, fue esculpido nuevamente por las olas y se transformó en un verdadero arrecife. Si se compara este arrecife primitivo con los que existen actualmente, después de 470 millones de años de evolución, advertimos con sorpresa que, si las especies evidentemente han cambiado, cada una de ellas ha dejado su lugar a una especie derivada.





***Algas y estromatolitos.*** *Los estromatolitos son estructuras rocosas formadas por algas sobre cuya superficie se han depositado lentamente lodos carbonatados. No se trata de un fenómeno biógeno, sino de una simple oposición mecánica. Los estromatolitos más antiguos que se conocen fueron descubiertos en Australia occidental, y datan de hace unos 3.400 millones de años. Algunas de estas rocas son las que las fotografías de esta doble página presentan. El esquema de arriba resume los intentos de los paleontólogos por clasificarlas.*

# Los arrecifes del Silúrico y del Devónico

Los primeros corales que aparecieron eran formas solitarias. Pero pronto se diversificaron las especies coloniales. Estas últimas, gracias a su capacidad de multiplicarse asexualmente (por gemación), y gracias a sus abundantes depósitos de carbonato de calcio, se convirtieron en seguida en los «faraones del mar» que siguen siendo todavía.

Durante el Silúrico (hace 446 a 416 millones de años), el ecuador atravesaba el centro del continente norteamericano, que cortaba desde el nordeste al sudoeste según las coordenadas actuales. Los océanos de la época dieron lugar a la creación de soberbios arrecifes, que hoy vemos en el Canadá, desde la isla Cornwallis 75° N.) a la isla de Anticosti en el golfo de San Lorenzo. Estos arrecifes se prolongan a Estados Unidos, a través de Michigan, Indiana e Illinois, hasta Nevada. En el Medio Oeste americano, estos arrecifes adoptan la forma de domo. Su textura porosa, así como las condiciones particulares de su formación (en cuyo transcurso gran cantidad de organismos quedaron presos en sus franjas), hacen de ellos lugares ideales para la constitución de bolsas de hidrocarburos. Los organismos muertos, apresados bajo la roca-madre del arrecife coralino, experimentan al paso de los siglos descompresiones químicas que los transforman en petróleo y en gas natural. Generalmente, los hidrocarburos se encuentran en compañía de una bolsa de agua salada. Sólo poco a poco el sistema adopta el aspecto «clásico» que se conoce: un domo calcáreo cubriendo una roca-madre embebida hacia arriba de gas; en medio, de hidrocarburos líquidos, y hacia abajo, de agua salada.

Los arrecifes del Silúrico fueron en su mayoría cubiertos por las aguas oceánicas antes de volver a emerger. Su superficie estaba tapizada de una capa a veces espesa de arenas y arcillas. Bajo la presión, las arcillas se transformaron en esquistos impermeables, creando así una especie de tapadera que protegió eficazmente los depósitos de hidrocarburos hasta nuestros días.

Los arrecifes tienden a formar series de barreras entre las cuales se extienden zonas lagunares, donde se acumulan los detritos y los depósitos de sal. Estas evaporitas, como las llaman los geólogos, tardan más o menos tiempo en constituirse, pues las aguas dulces de escurrimiento procedentes de los continentes pueden llegar a renovar el agua de las lagunas. En las cuencas centrales, aisladas a la vez de los océanos y de los continentes, la evaporación actúa más rápidamente.

En Europa, los arrecifes del Silúrico más conocidos y más espectaculares constituyen los acantilados del mar Báltico en torno a la isla sueca de Gotland. Los biohermes son allí muy numerosos y característicos, aunque su espesor raramente supera los 20 metros. Los restos de los depósitos debidos a las algas calcáreas son muy importantes también. Arrecifes del mismo género y de la misma época embellecen las islas de Nueva Siberia, que se encuentran en el océano glacial Artico, frente a la desembocadura del Lena, y los montes de Verjoiansk, que se elevan en la ribera derecha del mismo río.

zona turbulenta — caliza maciza

zona subturbulenta — caliza maciza ligeramente arcillosa

zona subturbulenta — caliza maciza arcillosa; caliza estratificada arcillosa y esquistos calcáreos grueso

zona en calma — esquistos poco o nada calcáreos, con inclusiones o no de nódulos calcáreos

zona profunda — esquistos arcillosos finos

zona turbulenta · zona subturbulenta · zona subturbulenta · zona en calma · zona profunda

***Los arrecifes del Devónico.*** *Fue durante el Devónico cuando los constructores de arrecifes tuvieron mayor actividad. Los más bellos ejemplares de estos antiguos edificios yacen a los pies de las Ardenas belgas, donde los geólogos los estudian desde hace decenios. Los esquemas de arriba relacionan las diversas rocas de estos arrecifes de las Ardenas con la mayor o menor turbulencia probable de la zona marina en la que se formaron. Las fotografías de la página siguiente muestran dos aspectos de los arrecifes del Silúrico en la isla de Gotland, en Suecia. Arriba: una vista general del edificio atacado por la erosión; abajo: fragmento coralino con varios estromatoporos.*

Fue probablemente en el Devónico cuando los constructores de arrecifes tuvieron su máxima actividad. Los edificios calcáreos continuaron elevándose merced a diferentes animales y plantas, pero los corales acentuaron su función. Se trataba de tetracoralarios, hoy día extinguidos y sustituidos por los hexacoralarios y los octocoralarios. Estos animales construyeron barreras gruesas y complejas, muchas de las cuales tenían probablemente una extensión superior a la de la actual Gran Barrera australiana. Uno de los sitios «clásicos» donde los geólogos estudian los arrecifes del Devónico se encuentra en Bélgica, al pie de las Ardenas, donde las canteras de caliza permiten hacerse una idea de la estructura general de los edificios fósiles. Los nombres de las poblaciones locales, como Couvin y Frasnes, sirven, por lo demás, para designar capas de terreno bien determinadas, y los utilizan los geólogos del mundo entero. Las Ardenas surgieron en el curso del plegamiento herciniano, a finales del Carbonífero. Fue una época de grandes cambios tectónicos; la potencia de estos movimientos del relieve explica que algunos arrecifes se encuentren ahora con una inclinación de 45°, a veces incluso más. Los biohermes del Devónico alcanzaban alturas considerables, a veces de 50 a 100 metros. Eran de diversos tipos (barreras; atolones con lagunas, etc.). Las algas incrustantes jugaron allí un gran papel, pero siempre se encontraban poderosas asociaciones de corales, a los que se añadían briozoos, braquiópodos, esponjas, gusanos, etc.



En Europa, los acantilados arrecifales del Devónico se extienden hacia el este en dirección de la Alemania central (Rheinland, macizo del Harz). Continúan luego hacia la Unión Soviética, hasta Nueva Zembla. Hacia el oeste se prolongan en el subsuelo de la Francia septentrional. Más lejos, hacia el sur, se los vuelve a encontrar en España y en Africa del Norte, en el Sáhara occidental: allí afloran como si el mar que los vio nacer acabara apenas de secarse. Arrecifes fósiles de la misma época se encuentran en la región de Kimberley, en Australia del noroeste, donde son visibles, y hoy están cruzados por gargantas profundas por las que discurren los ríos.

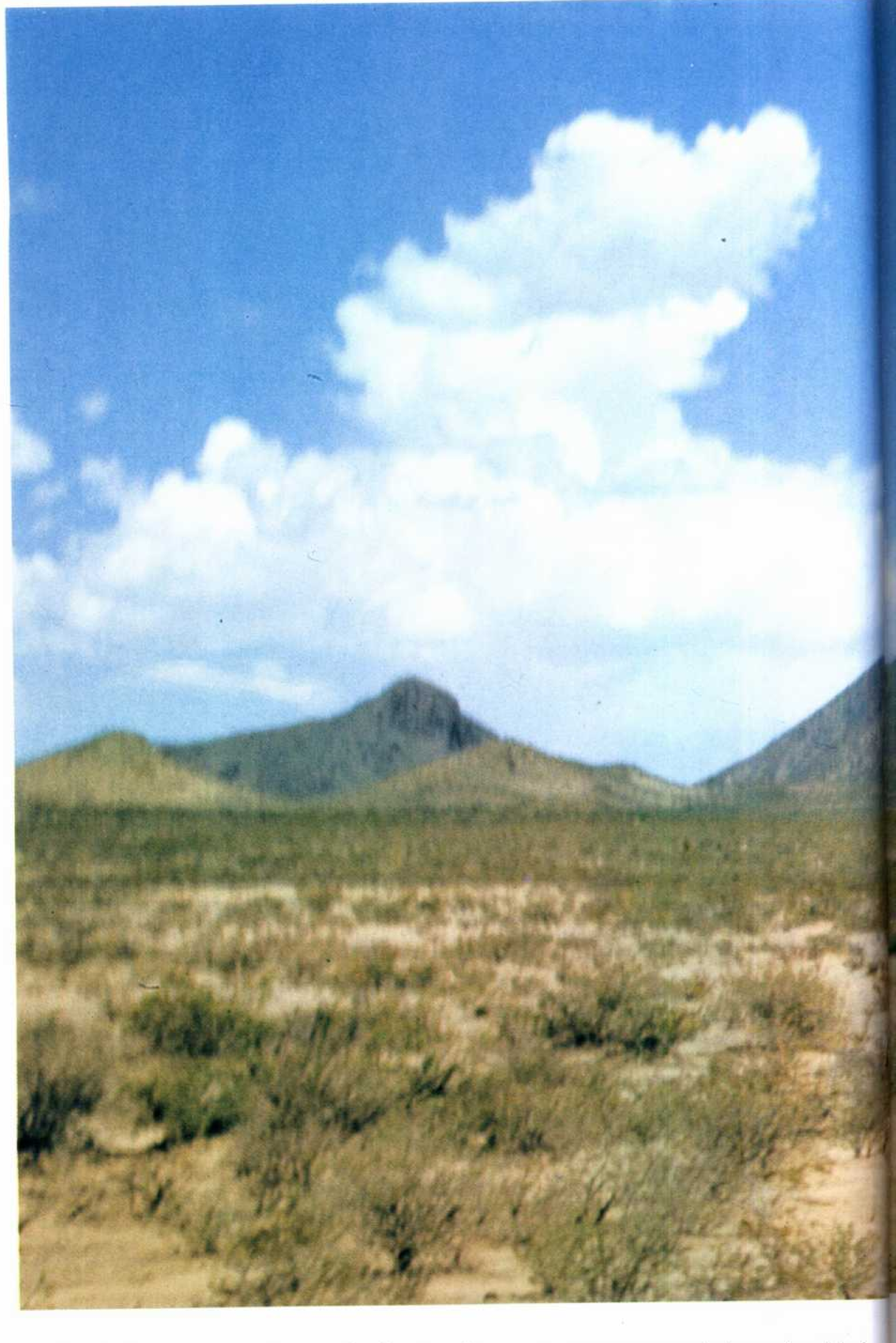
Los arrecifes del Devónico del Canadá occidental son, por el contrario, poco aparentes en superficie, pues fueron cubiertos por sedimentos de otra naturaleza. Con interrupciones e irregularidades, se extienden desde Saskatchewan hasta el territorio del noroeste. Su importancia económica no es necesario demostrarla desde hace años: es allí donde Canadá cuenta con sus principales riquezas de hidrocarburos.

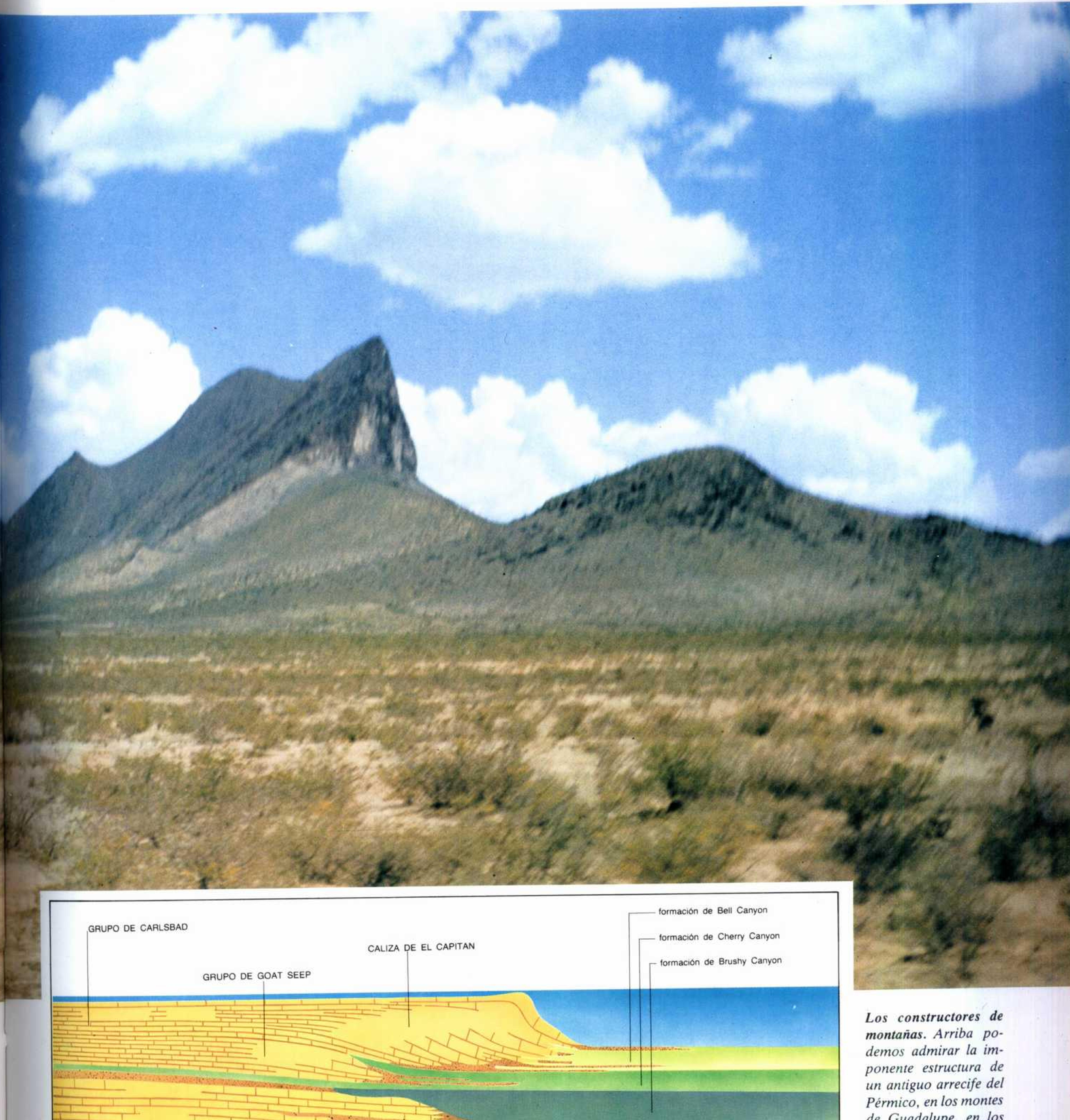
# Los arrecifes del Carbonífero y del Pérmico

En el Paleozoico tardío, mientras que el supercontinente austral del Gondwana experimentaba una glaciación, la mayor parte de los continentes septentrionales en la actualidad (América del Norte, Europa, Siberia) se encontraban todavía bajo las latitudes ecuatoriales y tropicales. Los mares que los bordeaban eran, por consiguiente, bastante cálidos como para constituir un medio muy favorable a la construcción de grandes arrecifes. Sin embargo, en virtud de las glaciaciones concomitantes, eran frecuentes las variaciones del nivel de los océanos.

Una región muy conocida de los geólogos, por sus arrecifes fósiles del Carbonífero, es el distrito de Craven, en el Yorkshire, Inglaterra del norte. Allí, el fondo marino del Carbonífero inferior se dividió en una serie de fallas que continuaron moviéndose durante todo el período de la sedimentación. Los arrecifes principales crecieron disponiendo entre ellos depresiones fangosas, estructura particular que hoy es posible comprobar todavía. Un tipo idéntico de formaciones arrecifales existe en Bélgica, y otros más en la Alemania central. Menos típicos se observan igualmente en la parte septentrional del Medio Oeste americano, así como en la Australia del este y del nordeste. En este último país, las estructuras coralinas fósiles parecen ser de poco tamaño, y se las conoce con el nombre de «montículos de coral»; en realidad tienen más de 100 metros de espesor; no se ve sino la cima, bajo forma de pitones calcáreos que se elevan sobre las zonas circunvecinas, compuestas de esquistos blandos y considerablemente erosionados. Abundan allí los animales fósiles: los paleontólogos han puesto de relieve un gran número de especies de corales (del grupo de los tetracoralarios), así como de briozoos, de braquiópodos y, naturalmente, de trilobites, esos animales articulados que caracterizan a la era Primaria como los reptiles lo hacen con la Secundaria.

En el occidente de Texas se han descubierto tóda una serie de gigantescos atolones fósiles que se remontan al Carbonífero tardío, los más importantes de los cuales son el atolón Horseshoe y el arrecife Scurry-Snider (ambos conteniendo yacimientos de hidrocarburos). Los arrecifes antiguos, en el Carbonífero superior, dejaron igualmente rastros visibles en Alaska, en el este de Groenlandia, en el archipiélago Spitzberg, en la parte europea de la Unión Soviética y en Siberia. Faltan por completo en el hemisferio Sur, frío en aquel entonces, excepto en Timor. Los arrecifes del Pérmico superior aparecen también en Estados Unidos, especialmente en la frontera entre Nuevo México y Texas, donde constituyen los montes Guadalupe, que recortan profundos y espléndidos cañones. El más macizo de estos conjuntos fósiles, descubierto en el transcurso de los años veinte, recibió el nombre de El Capitán. Allí, las construcciones arrecifales se ciernen sobre una profunda cuenca de tipo mediterráneo, donde se han ido acumulando periódicamente depósitos de evaporita. Es probable que este sistema se fuera constituyendo en varias etapas: primero se habrían formado conjuntos aislados; luego, estas unidades se unirían entre sí, aprovechando que no era muy grande la profundidad de las aguas en este trozo de la plataforma continental. Los depósitos de detritos orgánicos y de sal acabaron por conferir al conjunto su grandioso aspecto. Hoy día, la vegetación de tipo *chaparral* (mediterránea y semidesértica) que cubre estos parajes acaba de conferir un aspecto maravilloso a la naturaleza. Diríase que los matorrales de xerófilas crecen sobre estas rocas calcáreas como las matas de coral crecieron en ellas varios cientos de millones de años antes de nuestra era.





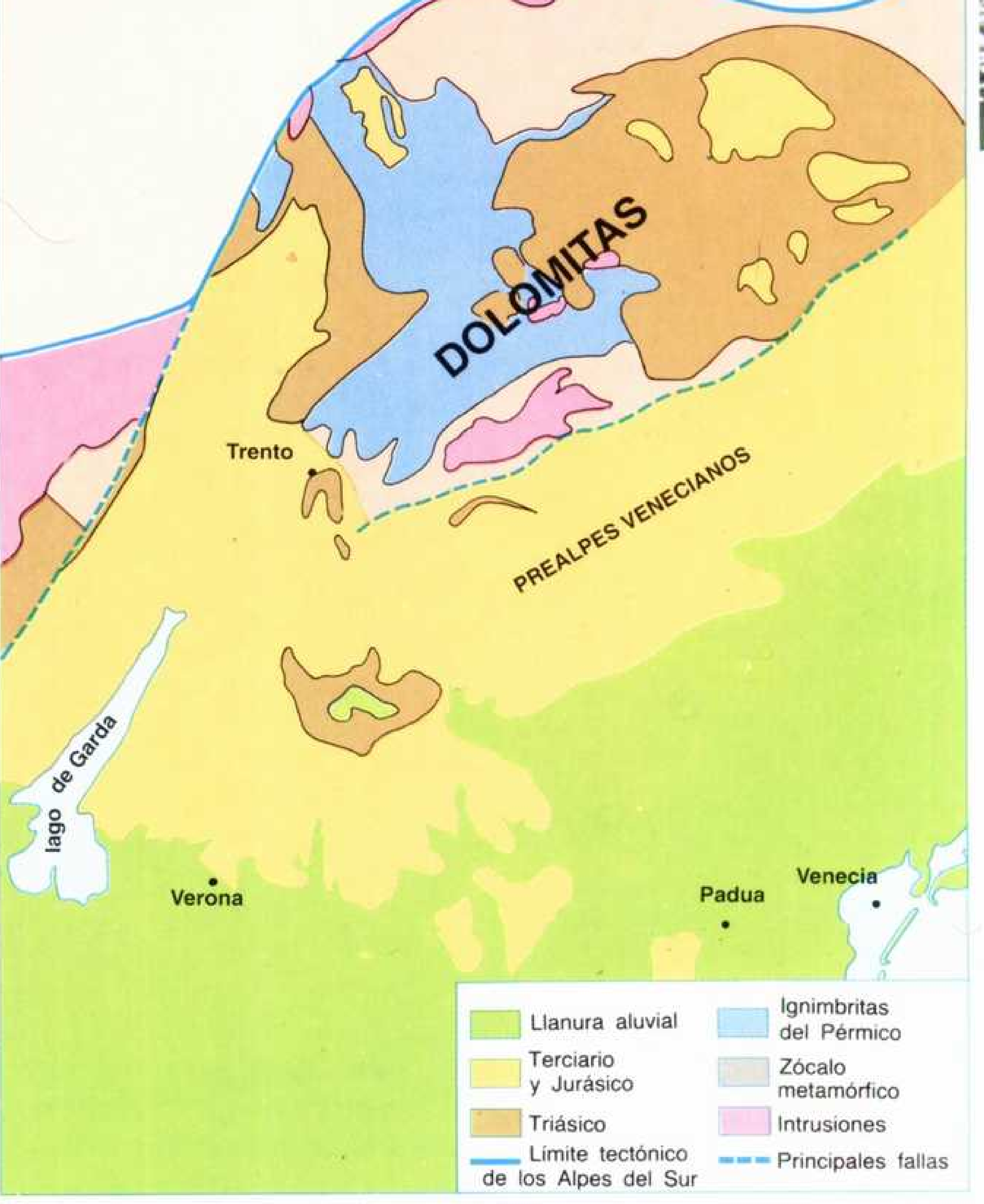

***Los constructores de montañas.*** *Arriba podemos admirar la imponente estructura de un antiguo arrecife del Pérmico, en los montes de Guadalupe, en los confines de Nuevo México y Texas. Aquí al lado, el esquema representa el perfil estratigráfico del monte El Capitán, que forma parte del mismo conjunto geológico.*

# Los Dolomitas

EN la era Secundaria (Mesozoico), las excepcionales condiciones climáticas permitieron la constitución de arrecifes en una gran parte de regiones marinas. El calor había fundido la mayor parte de los casquetes polares, de manera que el nivel general de los mares estaba muy elevado. Los organismos constructores dispusieron de inmensas plataformas continentales donde construyeron impresionantes barreras.

En el Triásico, el Tetis (ese mar que precedió al Mediterráneo) era sumamente vasto. En sus orillas, espléndidas barreras se extendían por cientos de kilómetros. Una de las mayores crecía en el emplazamiento actual del norte de Italia y de Austria durante el período del Ladiniano (conocido igualmente con el nombre de Wettersteinkalk). Del lado del océano, los detritos coralinos descendían hacia las aguas profundas formando numerosas avanzadas digitadas.

Los más famosos arrecifes del lugar se formaron en el Triásico medio, y dieron origen a los sorprendentes relieves de los




***Soberbias montañas.*** *Las condiciones climáticas muy favorables que reinaron durante la mayor parte de la era Secundaria permitieron la edificación de importantes barreras marinas de algas y de corales. Los más sorprendentes arrecifes de la época fueron los del Triásico medio, cuyo ejemplo lo constituyen los Dolomitas. El mapa de aquí al lado muestra la localización de estas antiguas formaciones, que se levantaron a favor del plegamiento alpino. Arriba: un acantilado del alto Val di Funes. Aquí, a la derecha: una de las famosas Torri di Lavaredo. En la extrema derecha: una vista de Sasso Pordoi.*



Alpes dolomíticos italianos y del Tirol del sur austriaco. Algunos alcanzaban más de 1.000 metros de espesor, y forman ahora grandiosas ciudadelas donde los alpinistas gozan plenamente.

Los Dolomitas fueron ya descubiertos como antiguos arrecifes hace más de un siglo, cuando un geólogo austro-húngaro, el conde Mojsisovics von Mojsvar, quedó impresionado por su insólita belleza, tratando entonces de encontrarle una explicación científica. Recientemente, estos mismos relieves han sido objeto de un estudio sumamente completo, realizado por el italiano Piero Lombardi *(Le Dolomiti,* 1967).

Llamar a los Dolomitas «arrecifes» podía parecer hasta hace unos años bastante aventurado, en la medida en que las cristalizaciones experimentadas por la roca esconden en ellas todo rastro de organismos constructores. Raros son los lugares donde se encuentran restos de algas, de moluscos, de foraminíferos, y más raros aún aquellos donde se descubren restos de corales. En realidad, los organismos constructores colonizaron las partes de la plataforma continental que correspondían a los rebordes de los acantilados; edificaron allí atolones y barreras, mientras acumulaban ingentes cantidades de detritos al pie de sus castillos. La porosidad de estos acúmulos de residuos permitió la penetración de una solución rica en magnesio (este último constituye el elemento necesario y característico de la dolomitización). Las capas de caliza blanda se transformaron en carbonato doble de calcio y de magnesio, roca muy dura. La más importante de estas obras maestras geológicas fue la Dolomita Esciliar, que tardó unos 10 millones de años en hacerse, entre el Ladiniano y el Carniano. Esta Dolomita Esciliar fue luego cubierta por otra, típica de las facies de la zona intercotidal: la Dolomita Principal (en alemán: *Hauptdolomit);* esta última data del Noriano, es decir, del Triásico superior. Y se extendió, acá y allá, por todos los Alpes orientales y la Europa meridional. En los Alpes austriacos, el Triásico superior se caracteriza por el complejo arrecifal de Dachstein, que tiene más de 1.200 metros de espesor.





# Los arrecifes de esponjas y de rudistas

DESDE hace más de un siglo, ciertos arrecifes de Suabia, en la Alemania meridional, suscitaron la curiosidad de los geólogos. Su caliza blanca y brillante crea acantilados que contrastan de forma pintoresca con las colinas boscosas de los alrededores. Estas formaciones se remontan al Jurásico superior, pero millones de años después de su constitución, en el Mioceno, el mar las cubrió nuevamente, las erosionó hasta dejarles un espesor de apenas 50 metros y abandonó a sus pies un conglomerado costero y de rocas perforadas por moluscos pelecípodos. La paleogeografía sugiere que aquí se encontraba un amplio brazo de mar límpido de 100 a 200 metros de profundidad. En este ecosistema no había ni grandes corrientes ni mareas. Los primeros pisos del edificio estaban compuestos de bancos de esponjas silíceas, cuyos restos de espículas se desparramaron luego ampliamente. La estructura de estas colonias de espongiarios se conservó sólo en aquellos lugares que fueron cubiertos con algas calcáreas incrustantes. Luego vinieron otros edificios hechos de estromatolitos. Mientras crecía el bioherme de estromatolitos





***Los edificios de invertebrados sésiles.*** *Durante el Jurásico y el Cretáceo se formaron grandes y poderosos arrecifes de invertebrados sésiles. A la izquierda: un acantilado del Jurásico superior en el Dorset, Inglaterra. Arriba: un arrecife de esponjas en los Alpes de Suabia, en Alemania. Encima: una formación de rudistas del Cretáceo, en México (mapa de al lado, a la derecha).*

y de otras algas, servía de refugio a una fauna numerosa y diversa, comprendiendo braquiópodos, briozoos, pelecípodos y sérpulas. Alrededor de las barreras en formación, se podían ver zonas donde el agua, ligeramente más profunda, cubría depósitos sedimentarios (lodos carbonatados, margas), donde quedaron aprisionados numerosos fósiles (esencialmente especies pelágicas, como los ammonites, los foraminíferos y los cocolitos). Las facies de lodo se compactaron antes que los bancos de esponjas, dando lugar a una estructura particular, en la que los taludes marginales del arrecife estaban muy en pendiente. Durante mucho tiempo, los amontonamientos de esponjas fueron un enigma para los geólogos. Estos últimos sabían que se trataba de arrecifes, pero no encontraban en ellos animales constructores ni en número ni en masa suficiente. Hubo que esperar al advenimiento de las técnicas modernas para ver un poco más claro. Sólo el empleo del microscopio electrónico, por ejemplo, permite comprender realmente la organización de los cocolitos.

En las partes del arrecife de esponjas más superficiales, se fueron estableciendo poco a poco los corales. Y fue a partir de estas posiciones avanzadas cuando conquistaron gradualmente el conjunto del bioherme.

Durante la era Secundaria, los arrecifes coralinos continuaron siendo florecientes, aun cuando las barreras del Jurásico y del Cretáceo parecían modestas respecto de las del Triásico. Las condiciones ecológicas seguían siendo buenas para los faraones del mar; el clima era suave; no había extinciones masivas. El Jurásico y el Cretáceo fueron períodos de expansión de los fondos marinos y de avance de las aguas sobre los continentes; pero las zonas de expansión estaban situadas en la parte más fría del hemisferio Sur, y esto explica que los corales no dispusieran allí de esas condiciones favorables.

Durante este tiempo, a lo largo de las márgenes del Tetis, se iba formando un medio nuevo y muy particular. La costra oceánica continuaba su movimiento de subsidencia en dirección del gran geosinclinal Alpe-Himalayo. Pero el Tetis se estrechaba cada vez más. Se multiplicaban los arcos insulares, fragmentándose y delimitando otras tantas cuencas detrás de los arcos.

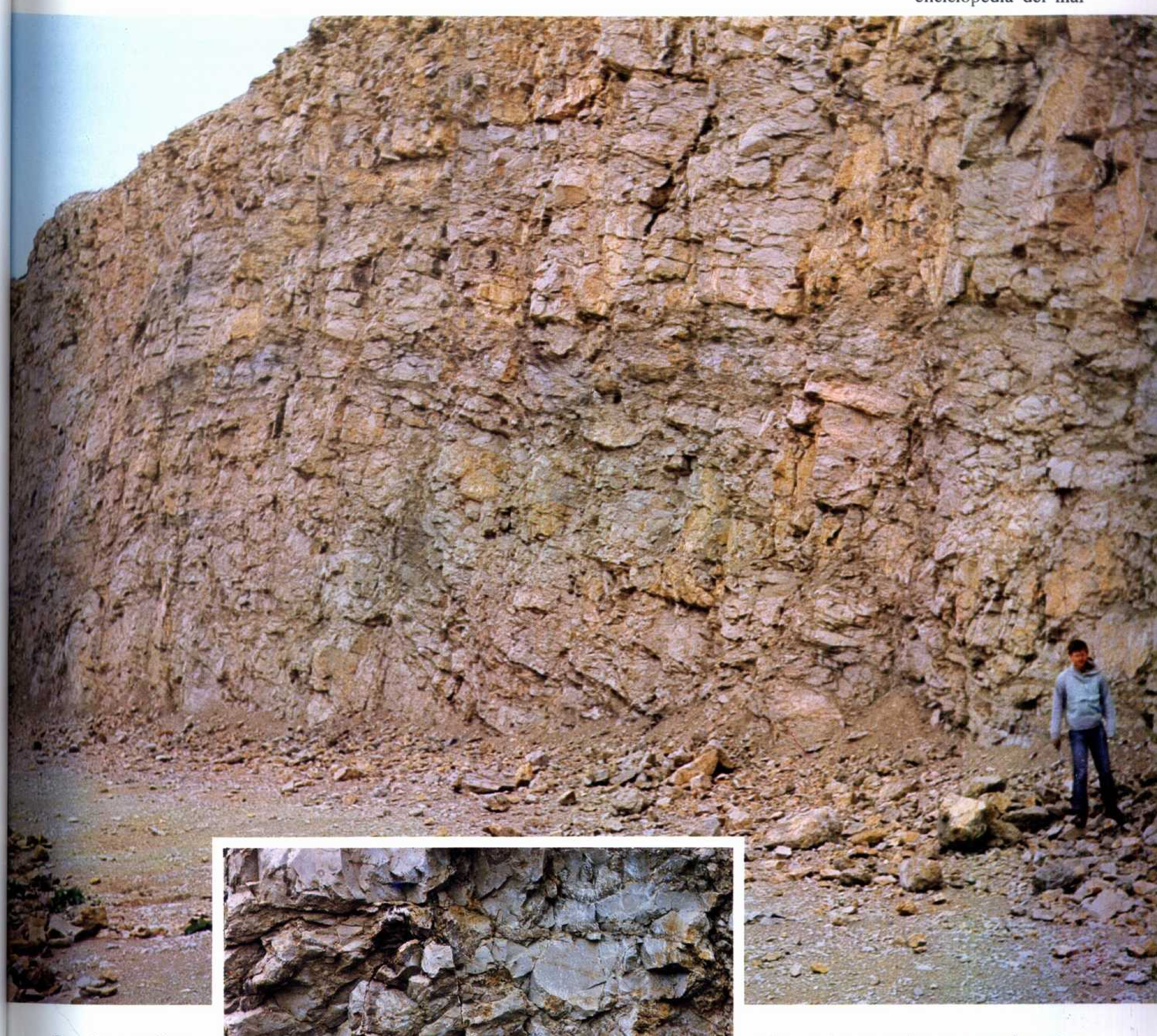
Todo esto constituía un abanico de factores favorables para el masivo desarrollo de colonias de invertebrados sésiles, bastante fuertes para resistir las corrientes y capaces al mismo tiempo de aprovechar los abundantes suministros de alimentos que aportaban las corrientes. Se asistió así a la explosión de las poblaciones de grandes ostras *(Ostrea* y *Exogyra),* así co-



mo a la proliferación de la almeja gigante *(Inoceramus)*, algunos de cuyos ejemplares alcanzaban los 30 centímetros de longitud. Más notable todavía fue la multiplicación de las especies y de los individuos de un grupo original de moluscos pelecípodos gigantes, el de los *Pachyodonta* de gruesa concha, que comprendía varias familias: los rudístidos *(Rudistes, Requiena, Caprotina*, etc.), los hipurítidos *(Hippurites, Vaccinites, Pironaea)* y los radiolítidos *(Radiolites, Sphaerulites, Durania)*. En ciertos lugares, estos animales, especialmente los rudistas, se presentaban en tanta cantidad que constituyeron arrecifes, segregando sus propias conchas sobre los restos de las de sus padres, y cimentándose así gradualmente en enormes edificios. El grupo de los rudistas apareció en el Jurásico y se extinguió a finales del Cretáceo (al tiempo que los dinosaurios y muchos otros animales). Los arrecifes de rudistas fueron en su mayoría biostromas, pero algunos, acogiendo otras numerosas formas vivientes, merecen el nombre de biohermes. Estos moluscos primitivos se parecían a gruesas ostras, con dos valvas desiguales en contacto por los bordes, la inferior en contacto con el substrato, y la superior más pequeña, dispuesta como una tapadera. Los mayores especímenes alcanzaban los 40 centímetros de diámetro, y pesaban varios kilogramos. Cuando numerosos individuos se apretaban sobre un mismo soporte estrecho, adquirían una concha de forma más alargada. En el ecosistema en el que ellos constituían el elemento vivo principal estaban asociados a moluscos gasterópodos de gruesa concha, a los co-







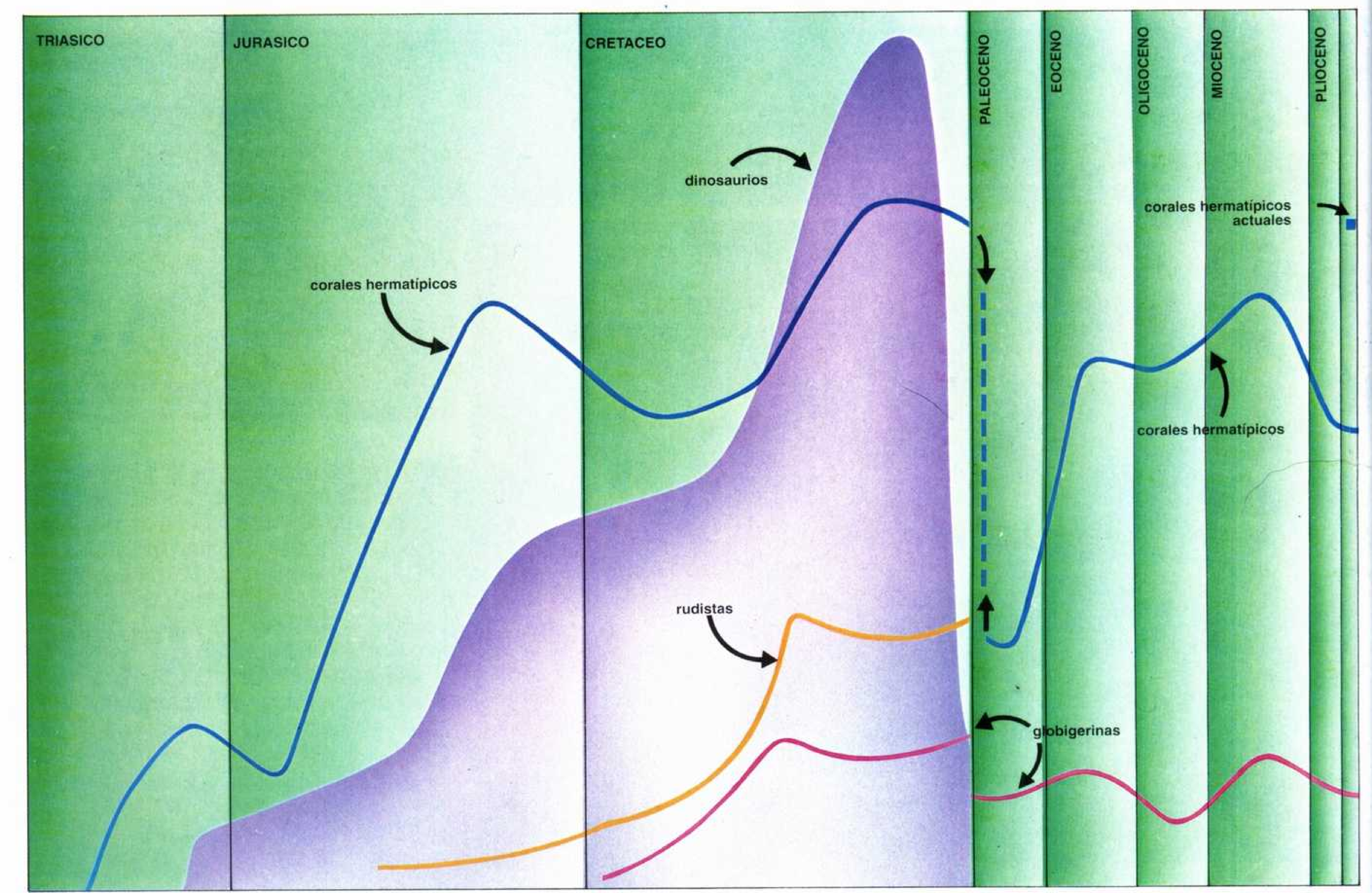
***Esponjas y rudistas.*** *En la página anterior, arriba, y aquí, a la derecha: dos aspectos del arrecife de esponjas de los Alpes de Suabia, en Alemania. A la extrema izquierda: una estructura de radiolítidos. Aquí, a la izquierda: un bloque de caliza de rudistas fotografiado en el cabo Caccia, en Cerdeña. Arriba: un ejemplo de la morfología de los pequeños arrecifes de esponjas descubiertos en Estados Unidos.*

rales, a las esponjas y a muchas otras criaturas a veces muy extrañas. Las zonas periféricas del arrecife, por su parte, abundaban en organismos semiplanctónicos o bentónicos, como los foraminíferos, los cocolitos y los ammonites. El Cretáceo fue la época de los «mares de creza», y los rudistas contribuyeron ampliamente a afianzar esta reputación. Aparte de la zona del Tetis, que fue su principal territorio, construyeron también arrecifes en México. En el cinturón petrolífero actual de este país (que los norteamericanos llaman la *Golden Lane),* los rudistas se agruparon para formar un notable atolón, que recibe el nombre de arrecife de El Abra.

# Los arrecifes petrolíferos

Los fabulosos campos petrolíferos del Oriente Medio contienen en su mayoría rocas-madre de arena en la parte meridional de Mesopotamia (golfo Arábigo-Pérsico), y reservas calcáreas en la parte septentrional. Particularmente, en la región de Kirkuk, en Irak, se trata de arrecifes de coral y de algas que datan del período que va desde el Cretáceo tardío hasta la mitad de la era Terciaria.
Desde el punto de vista de la paleogeografía, esta región es una plataforma amplia y poco profunda que constituyó por mucho tiempo el reborde septentrional del gran supercontinente austral, el Gondwana, es decir, la orilla meridional del Tetis. Durante el Cretáceo, se asistió a una progresiva subducción de esta plataforma, que se hundió bajo la plataforma eurosiberiana a lo largo de una línea que va desde Chipre hasta Anatolia y los actuales montes Zagros, en Irán. El Tetis, originalmente muy ancho, se estrechó poco a poco. Los mares epicontinentales que corresponden al actual golfo Arábigo-Pérsico cubrían una gran parte de zona norte de la península Arábiga, y tenían un eje de aguas profundas que corrían a lo largo de lo que se convertiría en el valle del Tigris.
Durante el Cretáceo superior, la península de Arabia entró en colisión con la placa Iraní. Se produjeron acumulaciones de sedimentos repletos de detritos orgánicos detrás de las líneas de los relieves formados de esta manera. La geografía cambió entonces radicalmente. Se obturó el brazo de mar local y se transformó en una serie de lagunas, mientras que al sudeste de Kirkuk se abría otro brazo de mar. En este último empezaron de inmediato los corales a reanudar la construcción de arrecifes. En el Eoceno, una línea de relieves carbonatados, constituidos por esqueletos de foraminíferos bentónicos del género *Nummulites*, formaba la frontera norte de las lagunas. Este banco muy poroso se convirtió en reserva voluminosa donde se acumularon los hidrocarburos expulsados por las margas que se habían amontonado en las cercanías. A finales del Oligoceno, estos bancos fueron delimitados por extensas barreras, constituidas por rocas calcáreas arrecifales que se habían formado más hacia el noroeste. El canal de agua profunda que seguía al eje central de Mesopotamia se tapizó con sedimentos (margas cretáceas de globigerinas), y quedó cerrado al sudoeste por una nueva sucesión de arrecifes coralinos. Al finalizar el Oligoceno, toda esta región se levantó sobre su lado sirio, y se cerró el Tetis, dando lugar al Mediterráneo actual. En la cuenca de Mesopotamia, durante el Mioceno, prosiguió la descomposición orgánica. Los hidrocarburos (gas y petróleo), bien escondidos en sus rocas-madre porosas, no pudieron escapar, pues las evaporitas (sal) y los sedimentos arcillosos solidificados constituyeron anticlinales, tapaderas eficaces para estas reservas. El secreto de las gigantescas acumulaciones de hidrocarburos estriba, en efecto, en estas dos condiciones, excepcionalmente bien reunidas en el Medio Oriente: por una parte, es necesario que los organismos vivos se descompongan, y que los productos de esta química encuentren rocas porosas donde apelmazarse; y por otra parte, es necesario que las rocas-madre estén cubiertas por domos impermeables.

***La revolución del Cretáceo.*** *El diagrama de abajo muestra las fluctuaciones de la abundancia de fósiles en el curso del Mesozoico y del Cenozoico. El final del Cretáceo corresponde a una fase de gran remodelación de la flora y de la fauna de nuestro planeta. Es la época de la desaparición de los dinosaurios, pero también de un gran número de otras especies terrestres y marinas. Por la misma época, los corales se extinguieron también masivamente, y hubo que esperar al final del Oligoceno, y sobre todo al Mioceno, para asistir a su gran «resurrección».*





# Apareamiento y reproducción

# Las estrategias reproductoras

TODO sistema viviente tiene una historia: quien quiera conocerla deberá también tratar de penetrar el secreto de esta historia. Cosa nada fácil, en verdad, pues en el campo de la evolución —como dice el profesor François Jacob— la naturaleza «hace sus chapuzas». No inventa *ex nihilo* su sistema genial, bien pensado y perfectamente funcional, sino que parte de elementos heterogéneos de que dispone, y hace lo que puede para cumplir, en el caso de cada especie, las condiciones que le impone el medio. La reproducción de los seres vivos es una pura maravilla de invención, pero de invención por todos conceptos. Sobre un esquema bioquímico único (la réplica del ácido desoxirribonucleico, o ADN) se pueden injertar una infinidad de modos de multiplicación particulares, todos a cual más curiosos o ingeniosos. Lo principal para el ser vivo es transmitir su patrimonio genético. Poco importa si los medios necesarios para este fin parecen ilógicos, antieconómicos, derrochadores, perversos o incluso, para hablar más familiarmente, por completo torcidos. La noción moderna de la adaptación de las especies a su entorno supone que existe una correspondencia más o menos estrecha entre su estructura propia (morfología, anatomía, fisiología) y las funciones que exigen la supervivencia en el biotopo. Si la vida es precisamente el «reino de la necesidad», como decía Jacques Monod, cada elemento que la compone debe estar en una cierta armonía con los demás. La historia de las estrategias de reproducción, desde este punto de vista, se confunde con la historia de la evolución misma. Por una parte, el medio impone a cada ser unicelular, a cada planta, a cada animal, una forma de reproducirse. Por otra parte, a través de la reproducción es como se transmiten los cambios genéticos necesarios para una mejor adaptación, haciendo posible la aparición de nuevas especies. Podría pensarse que aquí se da una contradicción; pero es precisamente la característica principal del patrimonio hereditario tender implacablemente a su propia perpetuación, aun permitiendo de cuando en cuando una variación evolutiva.

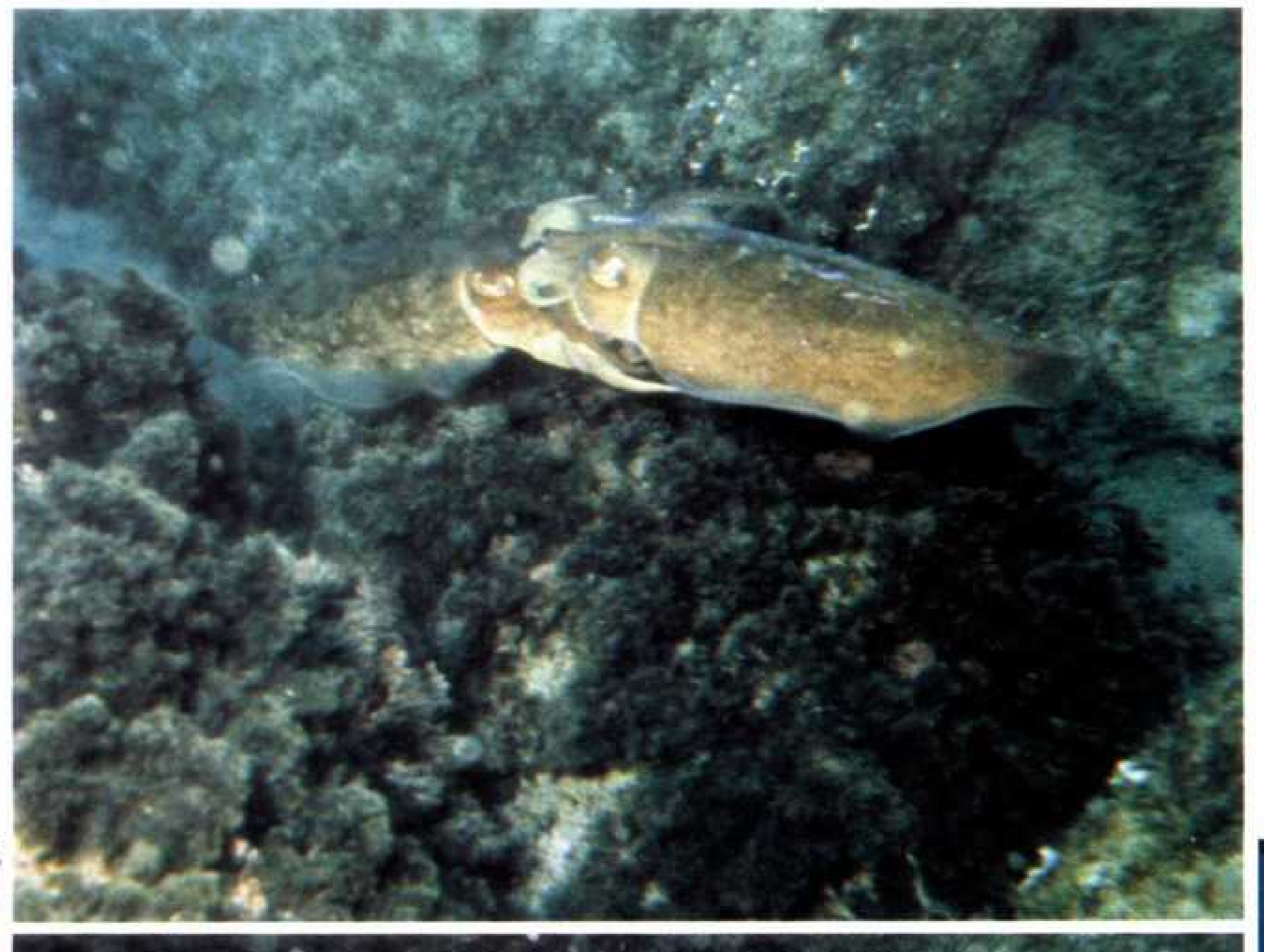
Probablemente, en el orden de la evolución, el primer tipo de reproducción que apareció fue la asexuada. En este tipo de multiplicación, un organismo determinado, por uno y otro medio, logra escindirse a sí mismo y dar origen a por lo menos dos organismos-hijos. La más clásica y sencilla de las reproducciones asexuadas es la división binaria, o escisiparidad, que se observa en las bacterias y en numerosos seres unicelulares. Una célula-madre desdobla su propio material genético; se parte en dos células-hijas, y así sucesivamente. Pero la reproducción asexuada dio lugar en las especies pluricelulares (tanto vegetales como animales) a una infinita variación de medios: gemación, renuevos, estrobilización, etcétera.

La reproducción sexuada hace intervenir a dos seres, un macho y una hembra, que unen la mitad de sus respectivos patrimonios genéticos. Su ventaja es enorme, pues permite el mezclado de los caracteres hereditarios, que la reproducción asexuada no hace posible. Esta mezcla es fuente de diversificación permanente, y por tanto de mejor adaptabilidad de la especie a los eventuales cambios de las condiciones ecológicas.

Una reproducción sexual existe ya, bajo una forma elemental, en ciertas bacterias: bacterias cercanas se unen entre sí e intercambian una parte de su ADN. En los protozoos, y sobre todo en los organismos pluricelulares, el proceso se complica mucho más. En las especies vegetales y animales más evolucionadas, la forma-



*El comportamiento sexual de las sepias. El macho de* Sepia officinalis *se reconoce fácilmente cuando está sexualmente maduro por sus estrías blancas y oscuras (debajo). Durante el apareamiento, precedido de la parada, ambos compañeros cambian de color varias veces.*









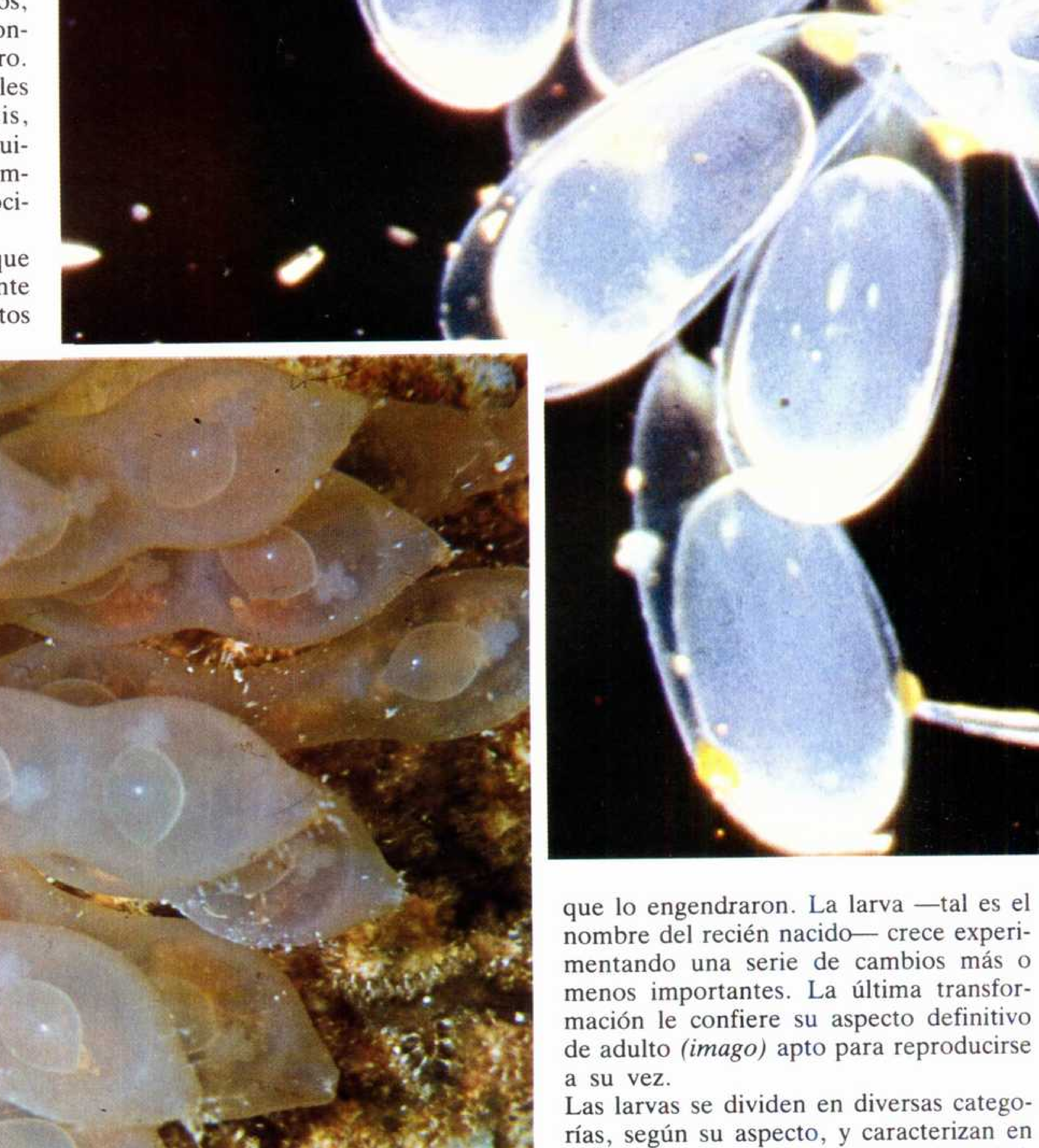
ción de las células reproductoras (gametos) masculinas y femeninas se ve precedida por una meiosis (reducción cromática), en cuyo transcurso las células de sexos opuestos llamadas a juntarse se forman no adquiriendo sino la mitad del número de cromosomas normal de la especie. La unión del óvulo y del espermatozoide, que crea el huevo (o zigoto), devuelve al futuro ser nacido de esta unión su *stock* genético normal.

# Las metamorfosis

El mar ofrece todas las variaciones posibles en materia de reproducción asexuada o sexual. La primera la practican esencialmente las bacterias y algas azules, cosa que hacen en ocasiones otras algas, un buen número de celentéreos, gusanos, etc. En ciertas plantas y en ciertos animales se observa una alternancia de generaciones: la especie se reproduce de forma asexuada, dando origen a seres que maduran gametos, los cuales se unen por pares opuestos, para volver a dar seres que se reproducen de manera asexuada, y así sucesivamente. Las plantas y los animales más complejos sólo practican el método sexual; pero esto da lugar ocasionalmente a un extraordinario festival de invenciones por parte de la naturaleza.

Todos los escolares estudian, en ciencias naturales, las metamorfosis de los insectos, sean incompletas, como en el saltamontes, o completas, como en el abejorro. Ahora bien, gran número de animales marinos experimentan metamorfosis, sobre todo entre los invertebrados (equinodermos, crustáceos, etc.), pero también entre los peces (el caso más conocido es el de las anguilas).

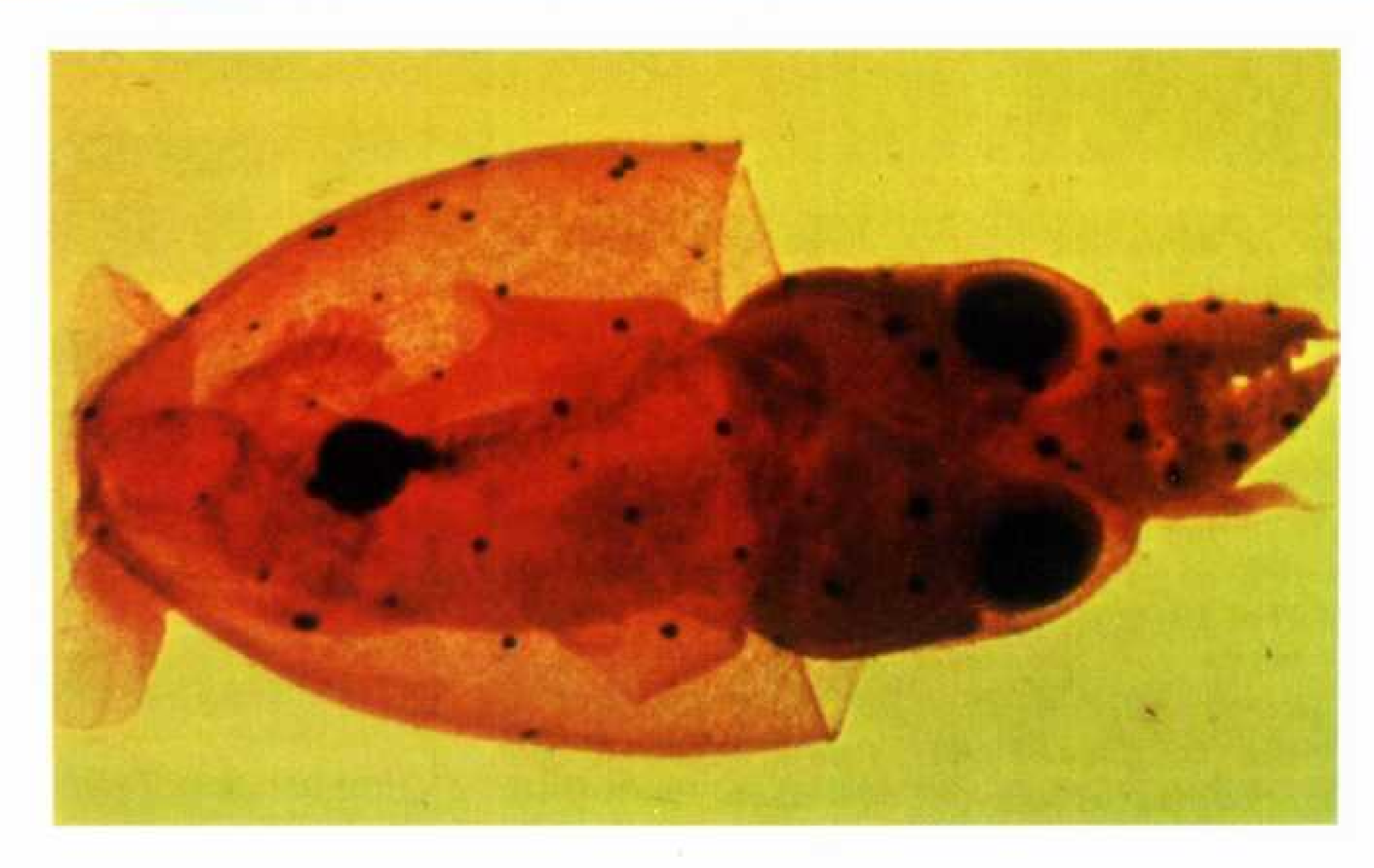
Se da metamorfosis cuando el animal que sale del huevo es sumamente diferente (en el plano morfológico) de los adultos



que lo engendraron. La larva —tal es el nombre del recién nacido— crece experimentando una serie de cambios más o menos importantes. La última transformación le confiere su aspecto definitivo de adulto *(imago)* apto para reproducirse a su vez.

Las larvas se dividen en diversas categorías, según su aspecto, y caracterizan en general a todo un grupo zoológico. Así, la larva de las esponjas es una *blástula* más o menos compleja (amphyblástula o parenquimula). La de los celentéreos, muy típica, aplastada y nadadora, se llama *plánula;* la de los anélidos poliquetos

***Racimos de huevos.*** *Los huevos de los invertebrados son a veces abandonados por las hembras en plena agua. Pero la mayoría de las veces están unidos entre sí (arriba). Los calamares* Loligo vulgaris *pegan sus puestas al fondo, en las anfractuosidades de la roca (en la página anterior). Aquí, a la derecha: una larva de calamar recién eclosionada.*

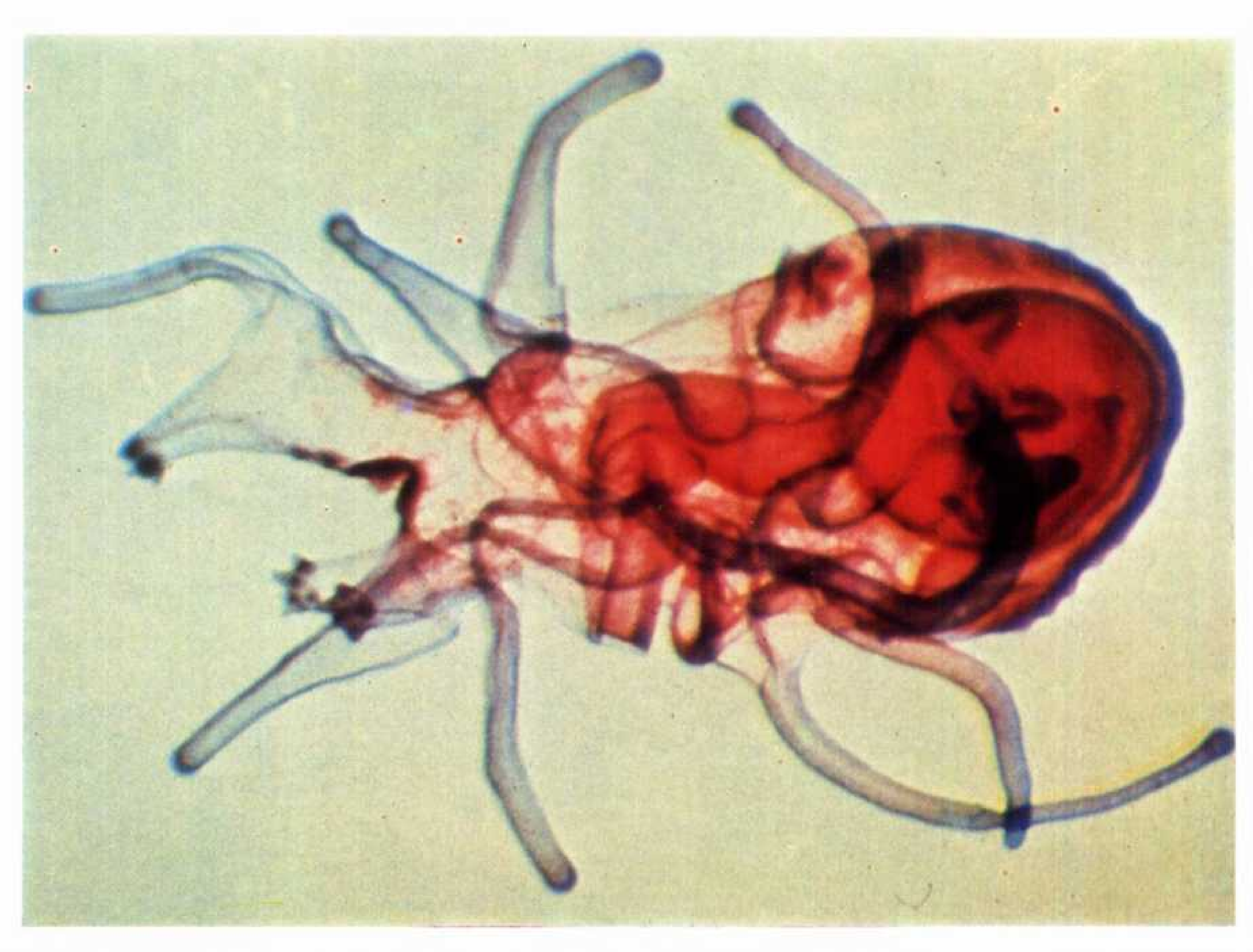


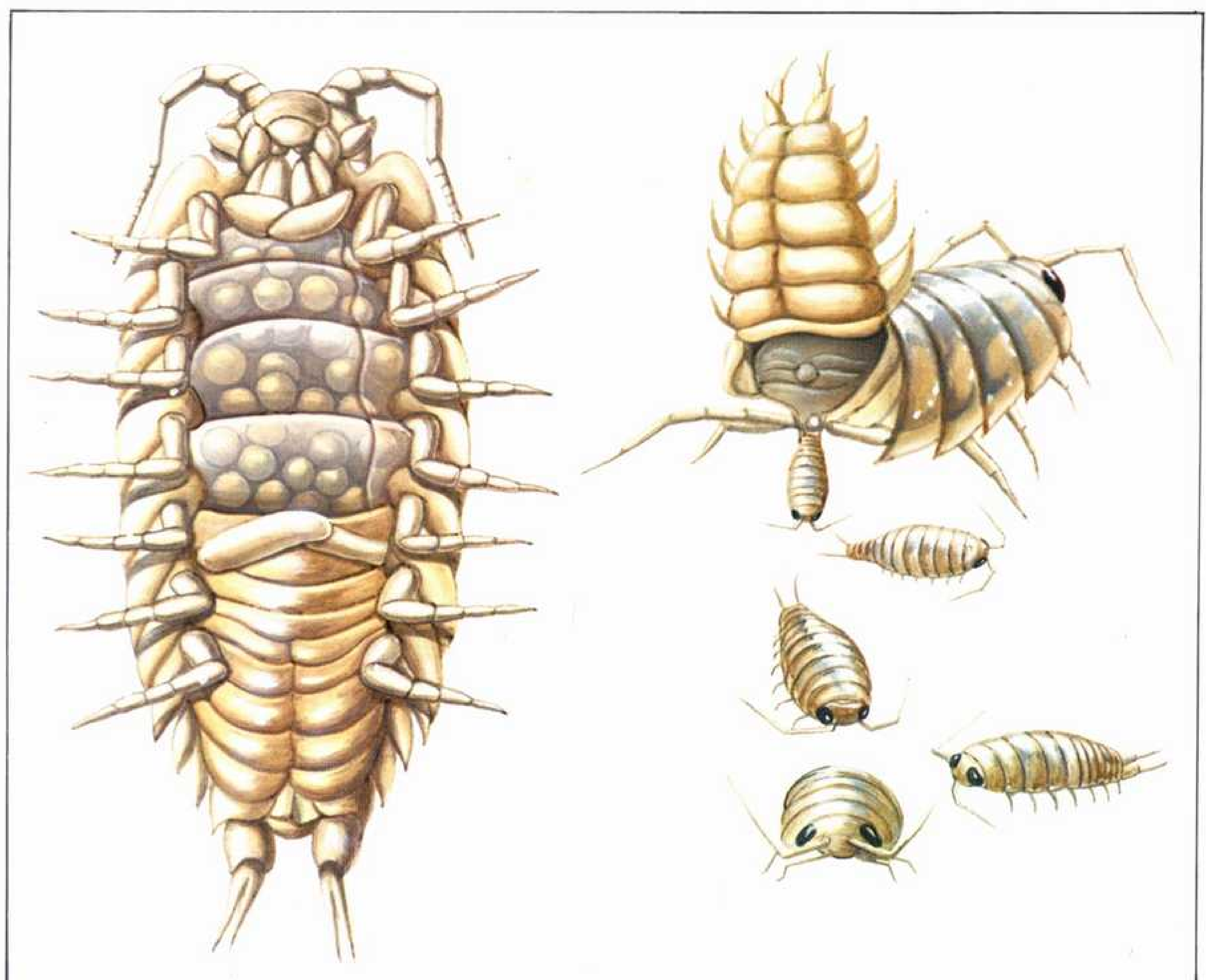
es *trocófora;* la de los moluscos posee una expansión tegumentaria ciliada llamada velo, y por eso se la llama *velígera;* la de los crustáceos pasa por diversos estadios típicos *(nauplius, zoea, misis),* con a menudo varios estadios intermedios. En cuanto a la larva de la anguila, se llama *leptocéfalo.*

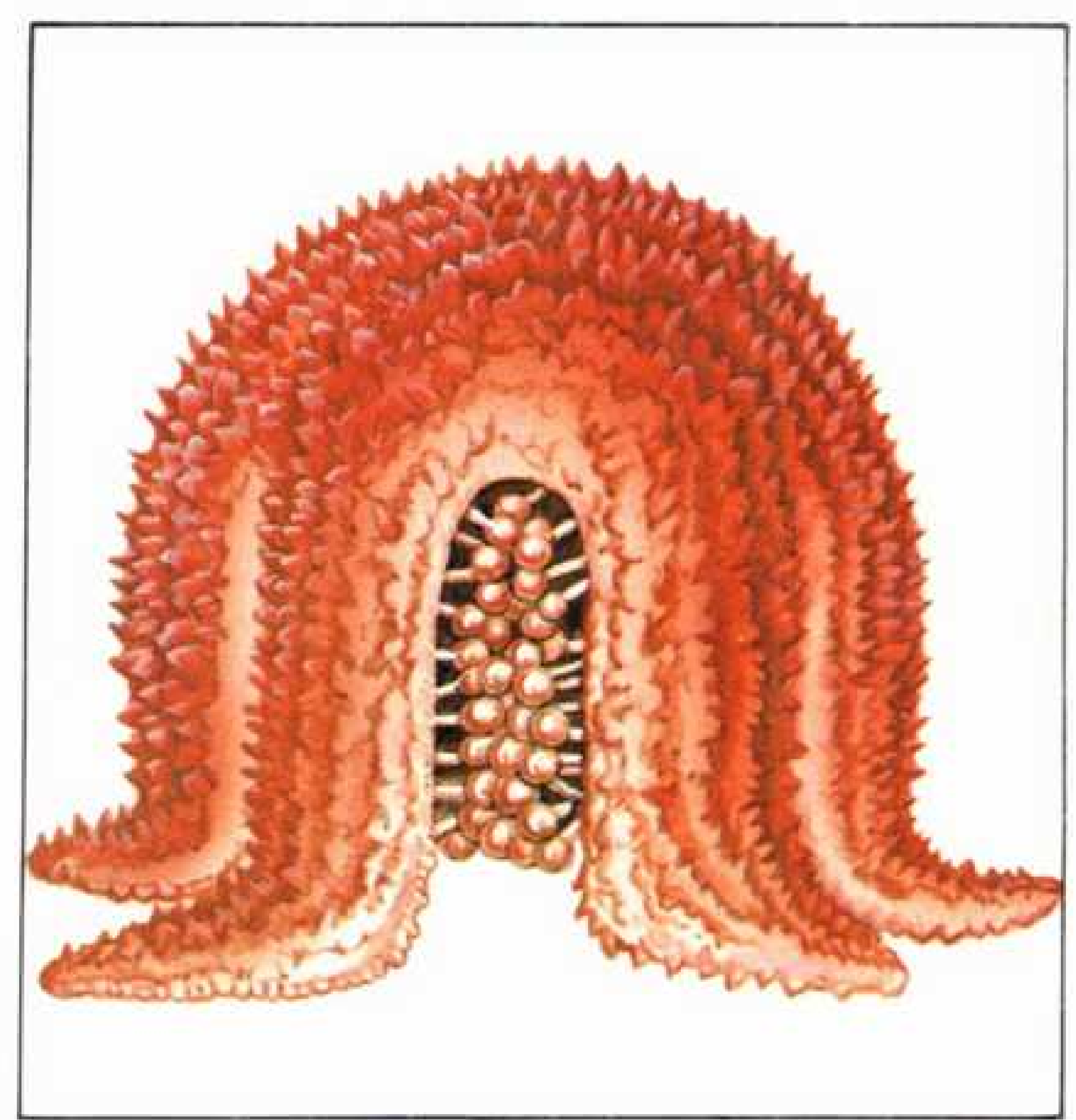
La mayoría de los invertebrados marinos, por el hecho mismo de pasar por un estadio larvario, forman en un momento de su existencia parte del plancton. Algunos siguen siendo planctónicos en el estado adulto (tal ocurre con numerosos copépodos, cladóceros, enfausiáceos y otros

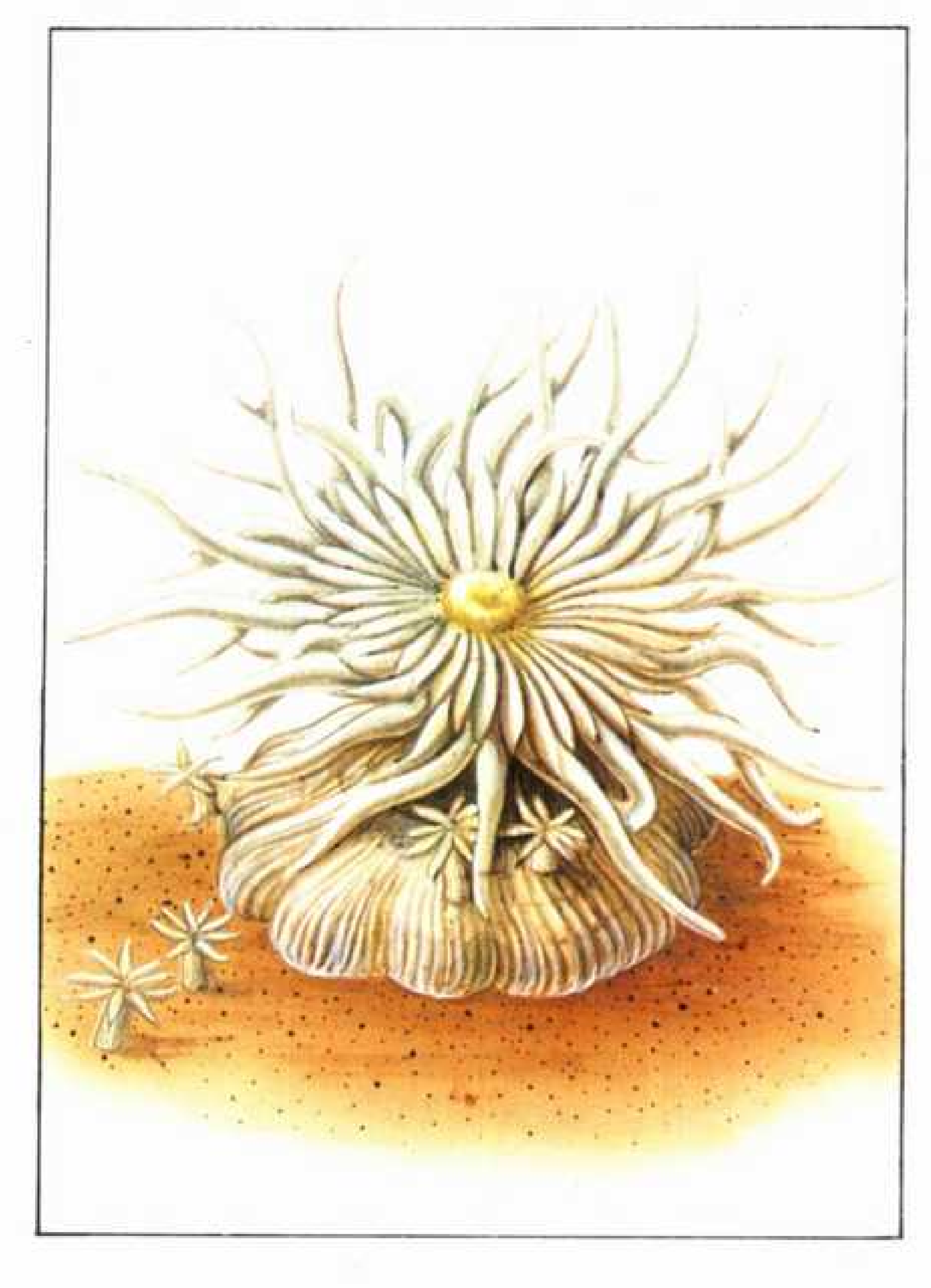
crustáceos nadadores, o también con los quetognatos). Otros más, una vez finalizadas sus metamorfosis caen al fondo, donde forman parte del bentos. En esta última categoría, algunos se fijan y se convierten en bentos sésil (esponjas, corales, moluscos bivalvos), mientras que otros constituyen el bentos móvil, llamado también vágil (moluscos gasterópodos, equinodermos, crustáceos caminantes). La langosta *(Palinurus)* vive así una larga fase planctónica, durante la cual pasa por numerosos estadios larvarios (nauplius, zoea), y luego acaba su existencia formando parte del bentos.

La fase larvaria planctónica es muy peligrosa para todas las especies que tienen que pasarla. La tasa de mortalidad es enorme, y las especies compensan sus pérdidas poniendo astronómicas cantidades de huevos. Otras criaturas protegen, en ocasiones durante bastante tiempo, a sus crías. En el pequeño molusco bivalvo *Gemma gemma,* por ejemplo, que vive en la zona intercotidal del noroeste de









***La protección de los huevos por la madre.*** *En las estrellas de mar, los sexos están separados. En la mayoría de los casos, las hembras emiten sus huevos en el agua, en presencia de los machos que los fecundan al pasar. Las larvas planctónicas (fotografía de arriba) son entonces abandonadas a su suerte. Pero en ciertas especies como* Leptasterias exactis *(dibujo del centro), la madre protege su puesta hasta que eclosiona. Muchos otros invertebrados aseguran la incubación de sus huevos; entre ellos podemos citar al artrópodo* Ligia pallasii; *en el dibujo de aquí arriba se advierte la cara ventral del animal, con sus bolsas incubadoras llenas de huevos (1); estos últimos eclosionan, y los pequeños no abandonan a su madre sino cuando son capaces de procurarse el alimento (2). Incluso un animal tan primitivo como la anémona de mar* Epiactis prolifera *(dibujo de al lado y fotografía de la página siguiente) protege a su prole: custodia a sus huevos hasta su eclosión en una invaginación de su pared externa. Este animal se reproduce también de forma vegetativa por gemación.*



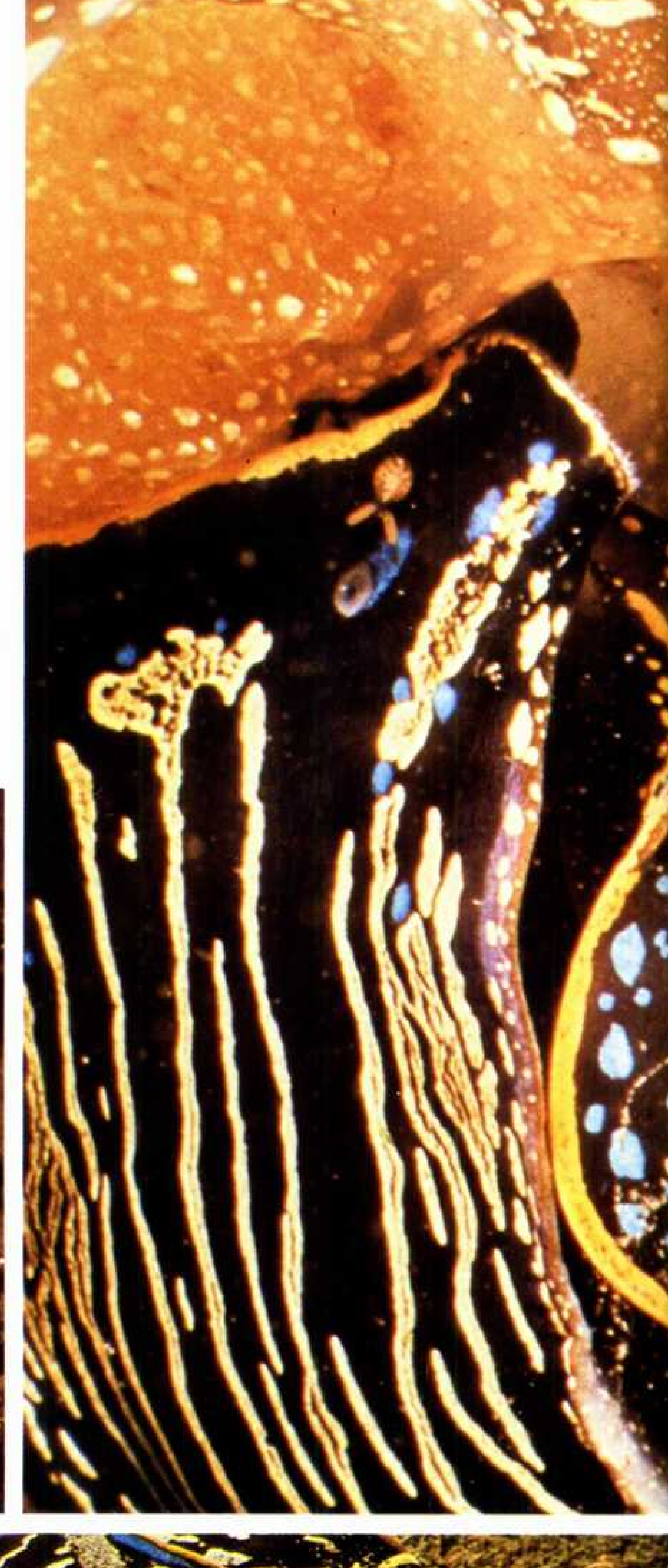
América, los huevos ecolosionan bajo forma de larvas velígeras; están muy expuestas a los depredadores. Es lo que ocurre también con el mejillón (*Mytilus edulis*), la ostra (*Ostrea edulia*) o el teredo (*Taredo navalis*). Pero en algunas especies, como *Nassarius obsoletus*, la larva velígera prosigue su desarrollo embrionario dentro de la cápsula del huevo. Algunos crustáceos se cuentan entre los invertebrados que protegen a sus crías: entre numerosas gambas y decápodos, la hembra mantiene prolongadamente sus huevos pegados al abdomen, y dentro de ellos los embriones llevan a cabo tranquilamente varias transformaciones larvarias.

Como es lógico, la protección de los jóvenes, tanto en los animales acuáticos como en los terrestres, la practican sobre todo las especies más elevadas en el orden de la evolución. Algunos peces, como el apogónido imberbe, practican la guarda bucal: los alevines se refugian en la boca de los padres (ocasionalmente en la del padre) en caso que se sientan amenazados por algún peligro.

Si muchas de las larvas planctónicas se metamorfosean en organismos bentónicos, y si muchas otras se mantienen entre las filas del plancton, un pequeño número se convierte en criaturas del necton, esto es, capaces de nadar en agua libre contra las corrientes. Así ocurre con las anguilas, pero también con los moluscos cefalópodos.

# La fecundación y la fecundidad

ENTRE los invertebrados, los modos de fecundación son sumamente diversos. La mayor parte de las veces es externa, es decir, que los espermatozoides encuentran a los óvulos fuera de las vías genitales de la hembra. En el medio líquido este tipo de encuentro se ve facilitado, pues los espermatozoides están dotados de un flagelo merced al cual pueden nadar. El único peligro es el de experimentar pérdidas importantes, pues las microcorrientes del agua dispersan los gametos. Muchos óvulos no quedan fecundados. En las especies que practican este tipo de encuentro, los gametos son, por supuesto, emitidos siempre simultáneamente. La excitación de los progenitores les permite, por activaciones químicas apropiadas, estimularse mutuamente a emitir células reproductoras. En las otras, por ejemplo, como *Crasostrea virginica,* las hembras no ponen sus óvulos sino cuando han sido estimuladas por las emisiones espermáticas de los machos. En muchas otras especies, la fecundación externa adopta aspectos verdaderamente extraños. Así, por ejemplo, en un anélido poliqueto llamado *Eunice viridis,* las hembras y los machos emprenden en las profundidades del mar una endiablada danza nupcial; emiten hormonas externas (feromonas) que los excitan al más alto grado; entonces sus partes genitales se separan del cuerpo, se enredan y suben a la superficie, donde los espermatozoides fecundan a los óvulos.

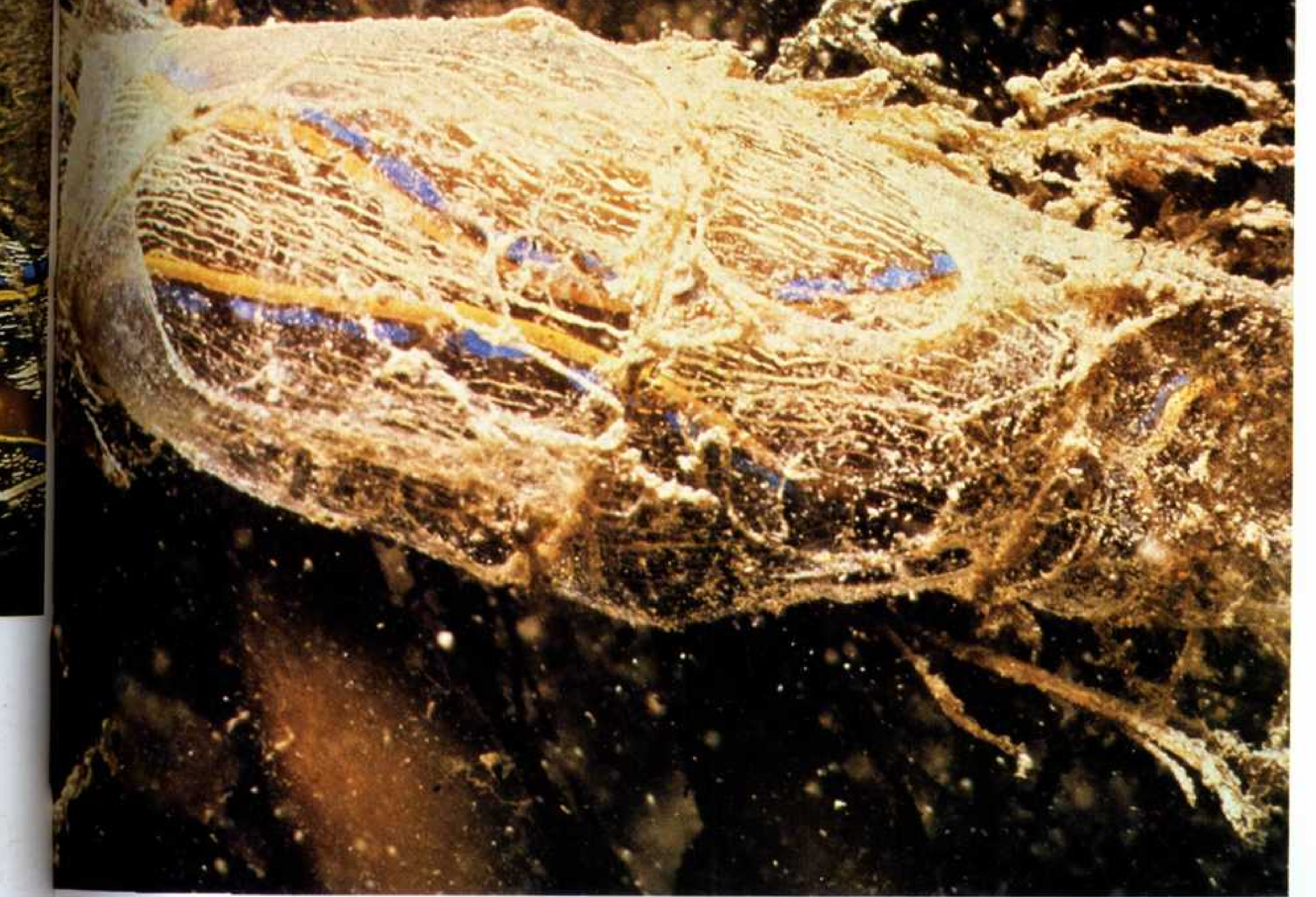






***La reproducción de los nudibranquios.** Estos moluscos gasterópodos sin concha son los equivalentes marinos de las babosas terrestres. Nadan en plena agua o se arrastran por el fondo. Todos son hermafroditas, esto es, están dotados de gónadas masculinas y femeninas; pero la fecundación es cruzada, y requiere de apareamiento (es imposible la autofecundación). La sucesión de fotografías de arriba muestra las fases de la unión de los sexos en un nudibranquio de las costas de California del Sur,* Navanax. *Una vez consumada la unión de la pareja, los huevos son puestos en una bolsa mucosa que segregan los animales y que se endurece rápidamente al entrar en contacto con el agua (fotografía de la página siguiente, abajo). En esta envoltura protectora acaban de incubarse los huevos, al abrigo de los depredadores. En otras especies de nudibranquios, los huevos se disponen en corona, en espiral y en otras muchas formas, pues en este campo la naturaleza da verdaderamente prueba de una maravillosa y sorprendente «imaginación».*



Esta fecundación, llamada epítoca, tiene lugar en épocas muy determinadas del año, en relación con las fases de la Luna (durante el último cuarto de las lunas de octubre y de noviembre, para ser exactos). Los indígenas del Asia sudoriental y de las islas Samoa conocen perfectamente el fenómeno: comen las partes sexuales de los gusanos, que encuentran en enormes nubes lechosas sobre las olas y que llaman *palolo*.

La fecundación externa es normal entre las esponjas, los moluscos lamelibranquios, los erizos de mar, etc. En ciertos invertebrados más evolucionados, los machos depositan su esperma en el interior del cuerpo de las hembras: se da entonces fecundación interna.

La fecundación interna adopta muy variadas formas según los grupos de animales. En los moluscos gasterópodos, que a menudo son hermafroditas, se da la cópula, fabricando una especie de «pene» rígido dotado de una especie de «cuentagotas» por donde corre el esperma. Las parejas de gasterópodo se fecundan mutuamente; no se autofecundan, pues. Entre los moluscos cefalópodos (sepias, calamares, pulpos), los machos están dotados de un tentáculo especializado (llamado hectocótido), gracias al cual toman bolsas de espermatozoides (espermatóforos) al salir de sus vías genitales, y lo depositan bajo la cavidad placal de las hembras, después de una auténtica parada nupcial.

El cangrejo *Callinectes sapidus* se pone a buscar una hembra sexualmente madura, se apodera de ella, la arrastra nadando hasta un lugar seguro, y aguarda a que efectúe su última muda. Cuando la dama pierde su antiguo caparazón, la insemina utilizando algunos de sus propios apéndices abdominales: debe hacerlo rápidamente, antes de que se endurezca el nuevo caparazón.

En ciertos moluscos del grupo de los teredos, o bromas, como *Bankia gouldi*, el macho se sirve de su sifón que estira e inserta bajo el manto de la hembra, como un auténtico canal de espermatozoides.

Las especies que practican la fecundación externa se ven obligadas a poner grandes cantidades de huevos. Así, ostras y moluscos lo hacen por millones. Se calcula que cada ostra *Crasostrea virginica* pone en circulación ¡de 50 a 100 millones al año! La cañadilla *Thais haemostoma* pone medio millón por estación, y el cangrejo comestible *Callinectes sapidus* produce un millón a lo largo de su vida. Las especies que, de una u otra manera, practican la fecundación interna, no tienen necesidad de ser tan pródigas. El bivalvo *Gemma gemma*, cuyos huevos fecundados permanecen en las branquias de las hembras, fabrican de cien a doscientos por año.

# Periodicidad de la reproducción

La mayoría de los animales (y de las plantas) tienen unos períodos para reproducirse muy determinados, generalmente en relación con la estación, pero también con otros factores del entorno, como las fases de la Luna. En las latitudes templadas ocurre lo mismo en el mar que en tierra firme: la mayoría de las especies se reproducen en primavera. Los animales son, en su mayoría, sensibles a las variaciones de la temperatura, y sobre todo al alargamiento de los períodos de iluminación diurna. La percepción de este ritmo circadiano (o nictemeral) es la que desencadena en ellos las modificaciones hormonales que preceden a la maduración de los gametos y al desencadenamiento de las migraciones o de las paradas nupciales. Esta excitación general, en primavera se ve favorecida por la explosión simultánea de las poblaciones de plancton vegetal. Las capas profundas frías y bien provistas en sustancias indispensables para el crecimiento de los vegetales (nitratos, fosfatos, etc.) se han mezclado profusamente durante los temporales invernales, y buena parte de estos nutrientes han subido a las capas superficiales del mar. Cuando éstas son iluminadas por el sol, se dan todas las condiciones para que el fitoplancton florezca y prolifere. Las larvas planctónicas de los animales, en cuanto eclosionan, encuentran repletos los almacenes de abasto oceánicos.

No todas las especies, sin embargo, se reproducen en la primavera. En las regiones polares, por los mismos motivos, lo hacen en verano, en el corto período en que las aguas, liberadas de la banquisa, ofrecen su superficie al sol. Incluso en las latitudes templadas son numerosas las especies que prefieren reproducirse en otros períodos distintos de la primavera. Por ejemplo, el crustáceo cirrípedo de las rocas de la zona intercotidal, *Balanus balanoides,* freza desde que se inicia el invierno, y se encuentran sus larvas abundantes en el plancton desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo. La concha de peregrino *Placopecten magellanisus,* muy estimada por los pescadores en la costa oriental de Norteamérica, sólo se reproduce a finales del verano y a principios del otoño. En el mar Adriático se ha comprobado que si las dos terceras partes de las especies bentónicas se reproducen precisamente en primavera, el resto desova en períodos diferentes; por orden de importancia, en invierno, verano y otoño. Cada especie se ha programado para poner en una fecha muy determinada. Son rarísimaas las que tienen varias fases sexuales en el transcurso del año.

La maduración de los gametos se ve a menudo disociada de la expulsión de estos últimos, es decir, del momento de la fecundación. En muchas especies, machos y hembras comienzan a experimentar la transformación de sus gónadas, necesaria para empezar a fabricar los espermatozoides o los óvulos, varios meses antes del período del encuentro genético. Por ejemplo, el gasterópodo de la zona intercotidal, *Nassarius obsoletus,* madura sus gametos en otoño, pero sólo los libera para transmitir la vida en la primavera siguiente. Se ha comprobado en esta especie que el estímulo necesario para expulsar los espermatozoides en dirección de los óvulos es la elevación de la temperatura del agua en torno de los 19 a 20 °C. Si en otoño colocamos *Nassarius* en un acuario a esta temperatura, empiezan a aparearse rápidamente.

Las fechas de la reproducción, en ciertas especies, están en relación con las fases de la Luna. Ya hemos aludido al caso del anélido poliqueto *Eunice viridis,* que emite sus gametos únicamente en el último cuarto de las lunas de octubre y de noviembre. Pero en el mar, muchos otros animales son igualmente sensibles a los









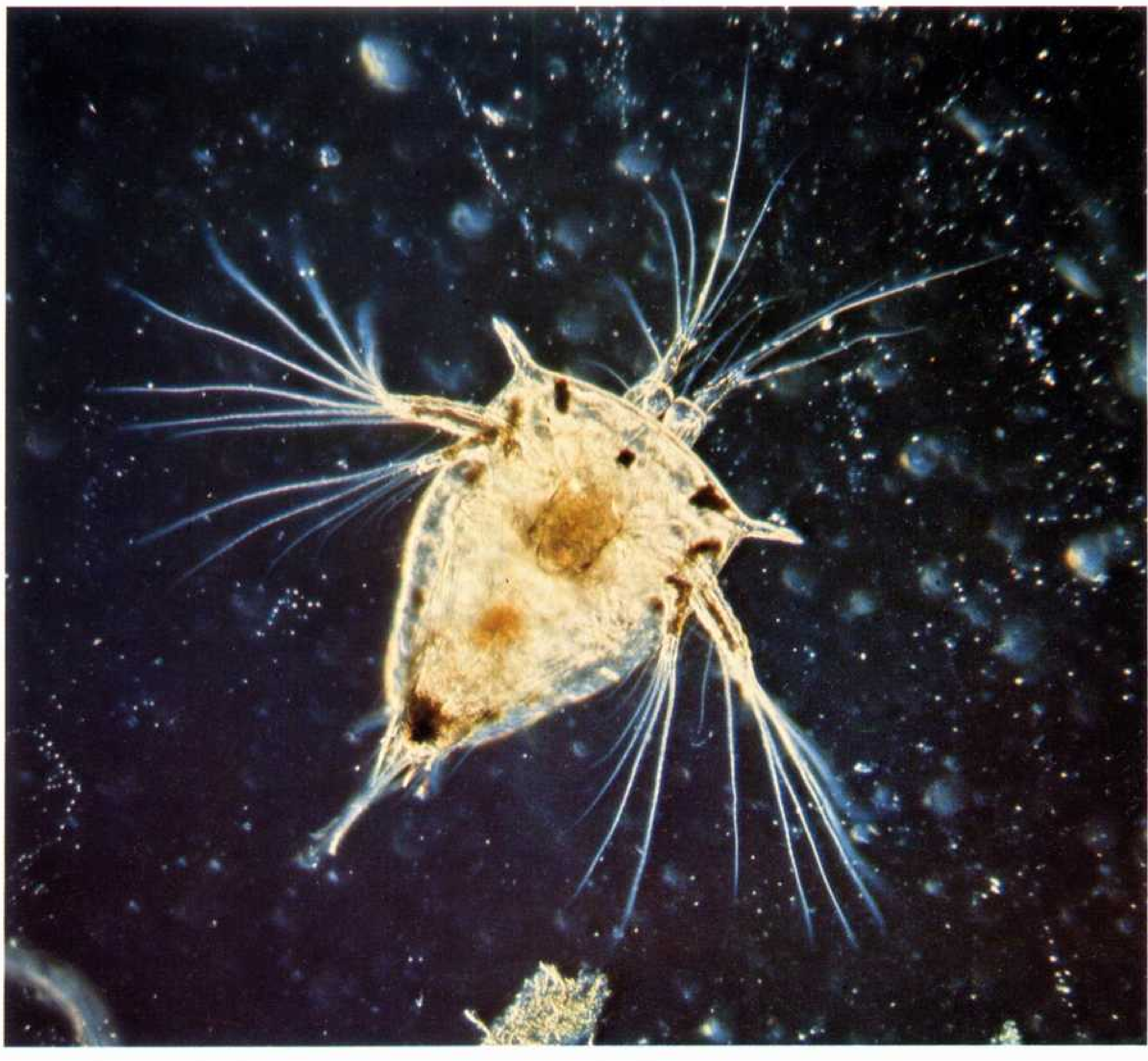
ritmos lunares, por la razón evidente de que la Luna determina las mareas. Así, en las riberas europeas el bígaro *Littorina neritoides* ha escogido el reproducirse sólo en el transcurso de las mareas altas de invierno.

En los mares tropicales y ecuatoriales, el factor que desencadena los mecanismos de la reproducción no es en modo alguno la temperatura del agua (que varía poco de un momento a otro del año) ni tampoco la variación de la iluminación diurna (en el ecuador, los días y las noches son siempre iguales). Los factores de variación están esencialmente representados por los vientos, que originan las corrientes, y por las lluvias, especialmente por los aguaceros de los monzones, que modifican la concentración salina de la capa superficial del océano. Al aludir, sin embargo, a estos grandes fenómenos, hay que reconocer que todavía nos queda mucho para penetrar el secreto de las épocas de la reproducción en buen número de especies. ¿Por qué los calamares se reúnen de pronto por millones frente a las costas de California o de Terranova, y durante menos de una semana, para dar la vida y después morir? Es un misterio; pero también un enigma entre diez mil más...

Menos familiares nos resultan todavía las fases de la reproducción de los animales en las zonas abisales. En cuanto se desciende por debajo de los 200 ó 300 metros bajo la superficie, las condiciones ecológicas permanecen prácticamente invariables; no hay luz, y, por tanto, tampoco ritmos circadianos o estacionales; la temperatura y la salinidad del agua permanecen constantes... A pesar de ello, parece que ciertos animales tienen una estación preferida para reproducirse; por ejemplo, el ofiuro *Ophiura lejungmani*, que vive en el talud continental hasta los alrededores de los 1.000 metros de profundidad, libera sus gametos y da origen a una nueva generación de larvas en enero-febrero. ¿Qué variaciones advierte en el entorno que estimulan su puesta? Nadie lo sabe.

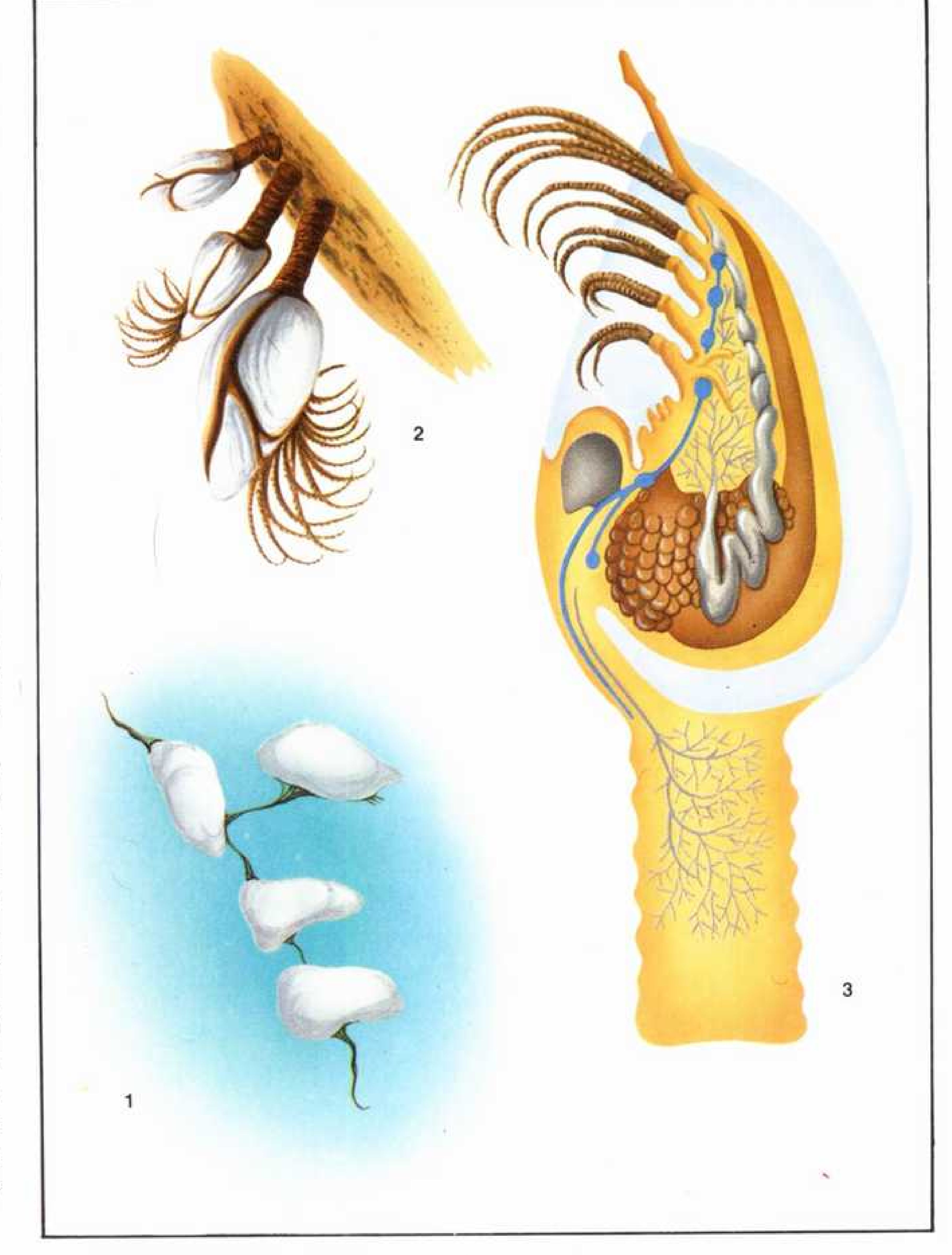
***La eclosión.*** *Las hembras de crustáceos copépodos llevan durante unos días o incluso semanas sus huevos en un gran paquete pegado a la parte posterior de su cuerpo (en la página anterior). Si las condiciones ecológicas son favorables (temperatura, etc.), se produce la eclosión. Las larvas salen del huevo en el estadio nauplius: es el representado en las dos fotografías de esta página a diferentes aumentos. Estas larvas planctónicas experimentarán una larga serie de metamorfosis antes de alcanzar el estadio adulto, pero la gran mayoría acabará en el estómago de los depredadores.*

# La dispersión de las larvas





LAS larvas de invertebrados van a la deriva a merced de las corrientes durante todo el período de su existencia planctónica. Su destino depende del itinerario de los grandes y pequeños «ríos del mar». Eclosionan en un lugar del océano, y finalizan la mayoría de las veces sus metamorfosis en otros. En ocasiones son arrastradas por corrientes imprevistas hacia lugares inhóspitos para ellas, donde mueren. La mayor parte de las veces, la especie, en el curso de su evolución, se ha adaptado a este gran ciclo espacial y temporal. El lugar donde se ponen los huevos es el más favorable para su supervivencia. Las corrientes que arrastran a las larvas las conducen hacia parajes donde pueden pasar sin mayores problemas al estadio adulto, y reproducirse a su vez.
A veces, el itinerario de migración planctónica es muy largo: la larva recorre cientos de kilómetros juntamente con el agua que la arrastra. En ocasiones, por el contrario, en las inmediaciones de las costas, la joven criatura sólo se ve arrastrada por pequeñas corrientes locales. Tras algunas semanas de viaje, vuelve a metamorfosearse en adulto a las aguas mismas donde sus padres la engendraron.
Las larvas nadadoras de la mayoría de las especies reaccionan a dos principales estímulos: la luz y la fuerza de la gravedad. También son muy sensibles a la salinidad y al porcentaje de oxígeno disuelto. Por regla general, las larvas recién eclosionadas se mantienen cerca de la superficie, es decir, en una zona muy iluminada, muy oxigenada y (en la estación de las lluvias) relativamente poco salada. A medida que crecen, van descendiendo. A veces se acercan a la costa, pues necesitan estar protegidas por el substrato y por las hierbas para franquear una etapa de su desarrollo. La mayor parte de las veces, se dirigen gradualmente hacia alta mar. Sucede con frecuencia que la reproducción de los invertebrados marinos depende de dos tipos de medios acuáticos: el mar mismo, por una parte; y por otra, un ecosistema más salado que el mar (por ejemplo, una laguna costera) o menos salado que él (por ejemplo, el estuario de un río o las marismas de un delta). La importancia de las lagunas, de los estuarios y de las marismas litorales en el desarrollo de las larvas, es, pues, esencial. Ahora bien, son éstos medios sumamente frágiles, que el hombre saquea con o sin motivo alguno.
Las especies utilizan evidentemente las corrientes marinas para aumentar, cuando les es posible, su área de distribución. Al emitir millones y millones de larvas al azar en el océano, aseguran la extensión de su imperio y su supervivencia en caso de catástrofe ecológica local. De esta manera, ciertos moluscos, algunas estrellas de mar y determinados crustáceos han colonizado océanos enteros. Pero esta estrategia no se ve forzosamente coronada por el éxito. Sometidas a duras condiciones durante su viaje, y eliminadas además masivamente por los depredadores, las larvas no tienen muchas posibilidades de sobrevivir; y el biotopo al que llegan no necesariamente les conviene.
En realidad, la mayoría de las especies parecen poco atraídas por la conquista de territorios lejanos. Su evolución se ha llevado a cabo de tal suerte que se encuentran perfectamente adaptadas a una única región, y sus larvas, en cada una de las etapas de su crecimiento, necesitan insertarse en un nicho ecológico estrictamente definido también. En los estuarios de América del Norte, entre los cabos Hatteras y Cod, por ejemplo, las larvas del crustáceo cirrípedo *Balanus improvisus* parecen esforzarse al máximo para no ser arrastradas a alta mar. Desde el estadio nauplius, se mantienen lo más cerca posible del fondo. A cada una de sus transformaciones, descienden un escalón. Para ello, utilizan las microcorrientes locales, pero en cuanto llegan al nuevo biotopo que les es favorable, hacen todo cuanto pueden por permanecer en él. Idéntico método se observa en las larvas del cangrejo *Neopanope sayi,* o en las larvas velígeras de la ostra *Grassostrea virginica.*
Algunas especies saben servirse de las corrientes de marea maravillosamente: gracias a ellas, las larvas del cangrejo *Rhithropanopeus harisi* viven exactamente al ritmo del flujo y del reflujo.



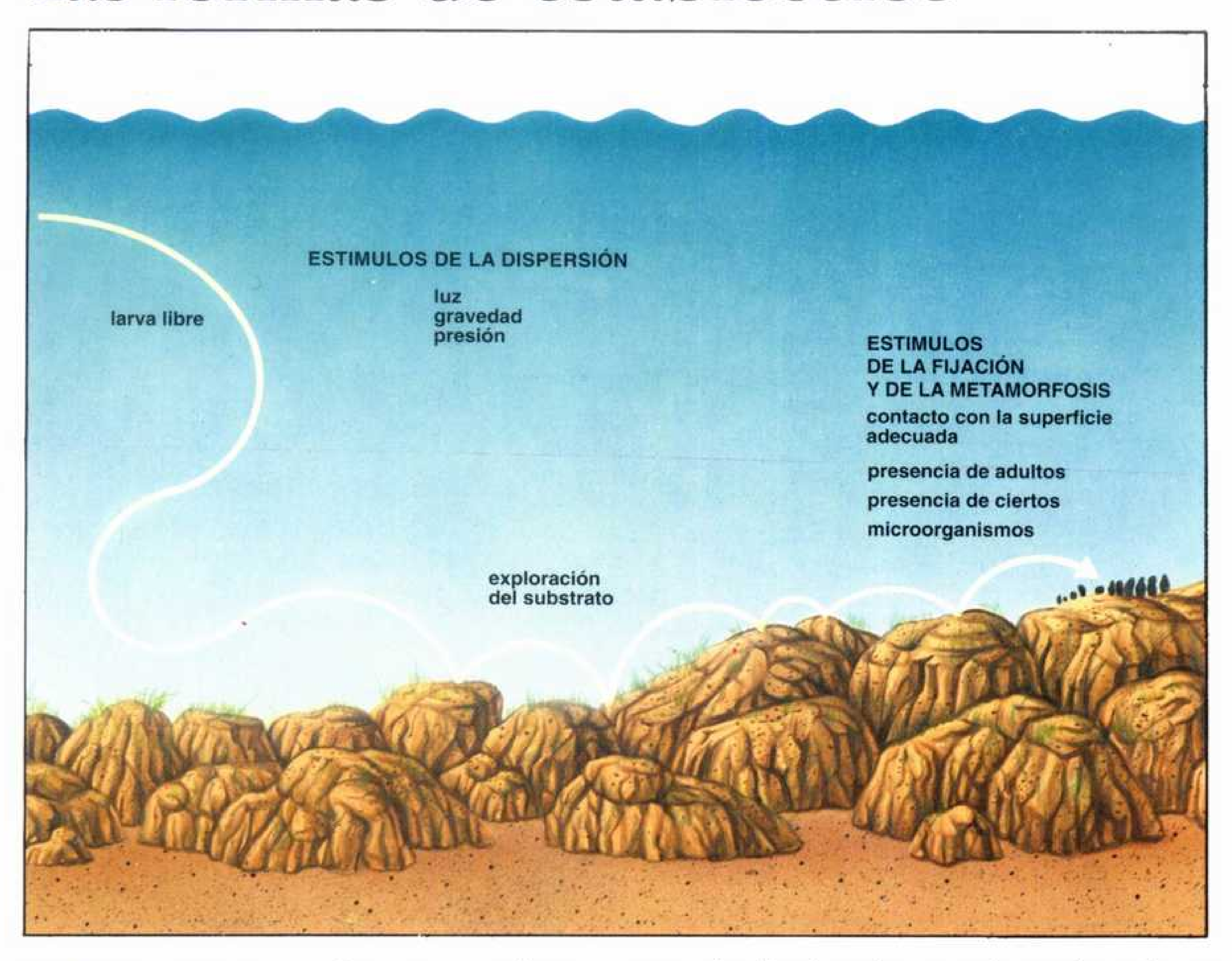

***De la larva al adulto.*** *Los crustáceos cirrípedos pasan por los estadios larvarios característicos de su clase:* nauplius, *etc. Pero en el curso de la última muda, o muda imaginal, adquieren una morfología muy particular. Segregan especialmente una concha bivalva que los hace parecerse mucho a los moluscos. En la página anterior, a la izquierda: una larva* nauplius *de bálano. Arriba: un grupo de cirrípedos adultos del género* Lepas *fijados al casco de un barco. En el esquema de al lado, a la derecha, se ha representado a las larvas* cypris *del cirrípedo* Lepas *fijas a un alga (1). Estas larvas alargan su parte preoral en un pedúnculo y se fijan (2). Al mismo tiempo experimentan un gran cambio morfológico interno que les confiere su estructura definitiva de adultos (3).*

Las especies de invertebrados que mejor utilizan el medio marino son generalmente aquellas cuyas larvas presentan un desarrollo más lento. A lo largo de sus metamorfosis planctónicas tienen tiempo de viajar lejos. Eclosionan en un lugar y llegan a veces al estado adulto, entre seis meses y un año después, a centenares o miles de kilómetros del primer lugar. Entre los moluscos con larvas velígeras «de larga duración» se cuentan, de manera especial, los gasterópodos (lapas, conos, etc.).

Resulta difícil afirmar si es más ventajoso para una especie tener millones y millones de representantes larvarios planctónicos o engendrar pocas larvas, pero bien protegidas. De hecho, esta cuestión no requiere probablemente respuesta alguna. O más bien la única respuesta posible es: ¡todo depende del animal! En materia de adaptación el único criterio es el del éxito: la supervivencia. Ciertos moluscos o determinadas ostras practican desde hace millones de años la estrategia del gran número, poniendo miles de millones de huevos al año; una ínfima minoría de éstos sobreviven, pero tales animales en modo alguno corren peligro de desaparición.

Igualmente se conocen invertebrados que desde la era Primaria confiaron en el pequeño número y la protección de las crías, y que continúan haciéndolo con éxito hasta nuestros días.

# Las formas de establecerse




MUY expuestas ya durante su existencia planctónica, las larvas viven una auténtica crisis, sumamente peligrosa, en el momento en que experimentan su última metamorfosis en adultos. Las especies que siguen siendo planctónicas deben, en general, en ese momento cambiar de régimen alimentario. Es lo que les sucede también a las que forman parte del necton. Pero las más desventuradas son las que se integrarán al bentos: no sólo modifican su tipo de alimentación, sino que deben también encontrar un lugar en el fondo, y esta competencia no es, en modo alguno, fácil, pues el espacio escasea.

Es de imaginar el trastorno que representa la última metamorfosis para una larva velígera de gasterópodo marino: comiendo hasta entonces fitoplancton, debe de pronto encontrar presas animales para sobrevivir. Pero la competencia es muy activa en el substrato donde ahora el animal debe arrastrarse: le aguardan en él los depredadores, que le acecharán continuamente. Y las presas no se dejan capturar tan fácilmente...

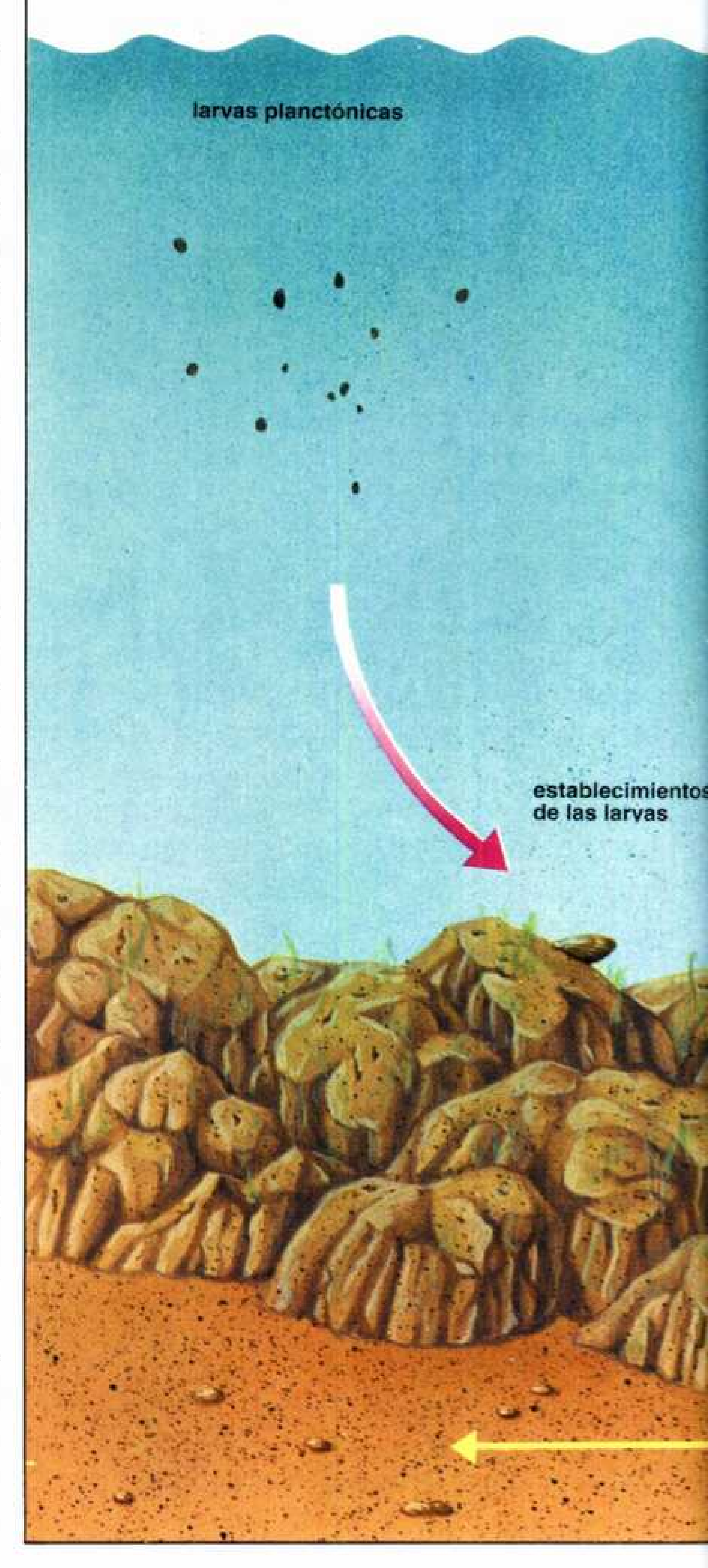
El cambio de régimen alimentario se lleva a cabo con gran rapidez. Como las demás modificaciones de la metamorfosis, ésta resulta de la acción de una serie de hormonas que actúan no sólo sobre la estructura del aparato digestivo, sino también sobre su fisiología. El intestino de los hervíboros es largo. Cuando la alimentación se basa en la carne se acorta; las enzimas, aptas para digerir la celulosa, desaparecen y dan lugar a otras capaces de descomponer las materias proteicas animales (pero también, en ciertos casos, de disolver las conchas minerales o los caparazones de dura quitina).

El final de la vida larvaria planctónica está, en general, programado en el tiempo, pero la metamorfosis puede verse retrasada por factores externos: temperatura inadecuada, etc. Las larvas planctónicas de numerosas especies bentónicas tienen así posibilidad de diferir en algunas horas, algunos días o incluso algunas semanas el momento de su descenso al fondo y de su eventual fijación al substrato. Una vez emprendida, la última transformación se lleva a cabo con rapidez: en general, dura menos de un día; a veces, apenas unos minutos. La larva del gusano foronídeo *Phoronis mulleri* necesita por lo menos diez minutos para metamorfosearse en adulto, lo mismo que el anélido poliqueto *Owenia fusiformis*. La larva del crustáceo cirrípedo *Balanus improvisus* apenas tarda siete horas en fijarse al substrato y en llevar a cabo su transformación en perfecta bellota de mar. La rapidez de las metamorfosis sigue siendo un enigma para los biólogos: ¿cómo en tan poco tiempo puede un organismo perder órganos enteros y adquirir otros inmediatamente funcionales? Es sorprendente la eficacia de los mensajes hormonales. La rapidez con que las proteínas de los tejidos que se han inutilizado son degradadas en aminoácidos, y luego restituidas en nuevos tejidos, deja, por así decir, atónitos a los bioquímicos más avisados.

Apenas estamos empezando a estudiar las metamorfosis en los invertebrados marinos. Y vamos de sorpresa en sorpresa: tántas son las formas extrañas que adoptan. Ciertos factores aparentemente insignificantes condicionan, en realidad, su desencadenamiento. Para establecerse en las rocas, ciertos hidrozoos necesitan que una determinada especie de microorganismos los colonicen y los «preparen», por así decir.

Así, las larvas *plánula* de la anémona de mar *Hydractinia echinata* no se metamorfosean si no se encuentran sobre una roca cubierta con una delgada película de bacterias gram negativas.

***El establecimiento de las larvas planctónicas.*** *El comportamiento de las larvas está presidido por un cierto número de estímulos que cambian a medida que crecen. Durante la fase planctónica, los jóvenes individuos son sensibles principalmente a la luz, y secundariamente a la gravedad, a la presión y a ciertas sustancias químicas. Cuando caen al fondo, las larvas de los animales bentónicos adoptan un comportamiento característico de búsqueda. Exploran el fondo marino en busca de un mejor lugar para su metamorfosis, su fijación (provisional o de-*



Las larvas que se posan sobre el suelo del océano detectan muy bien el tamaño de las partículas minerales que lo componen. Algunas están programadas para fijarse sobre guijarros, otras sobre la arena; otras, en fin, sobre el lodo. El anélido poliqueto abisal *Ophelia bicornis* no se fija solamente en la textura del substrato: para implantarse en él, su larva necesita detectar igualmente la presencia de organismos vivos que le servirán de presas cuando haya finalizado sus metamorfosis. Asimismo, las larvas del molusco gasterópodo *Nassarius obsoletus* son atraídas por fondos marinos ricos en un cierto tipo de microflora; si ésta falta, no se posan; si escasea, retrasan su metamorfosis; si, en cambio, abunda, se transforman en adultas casi de inmediato.

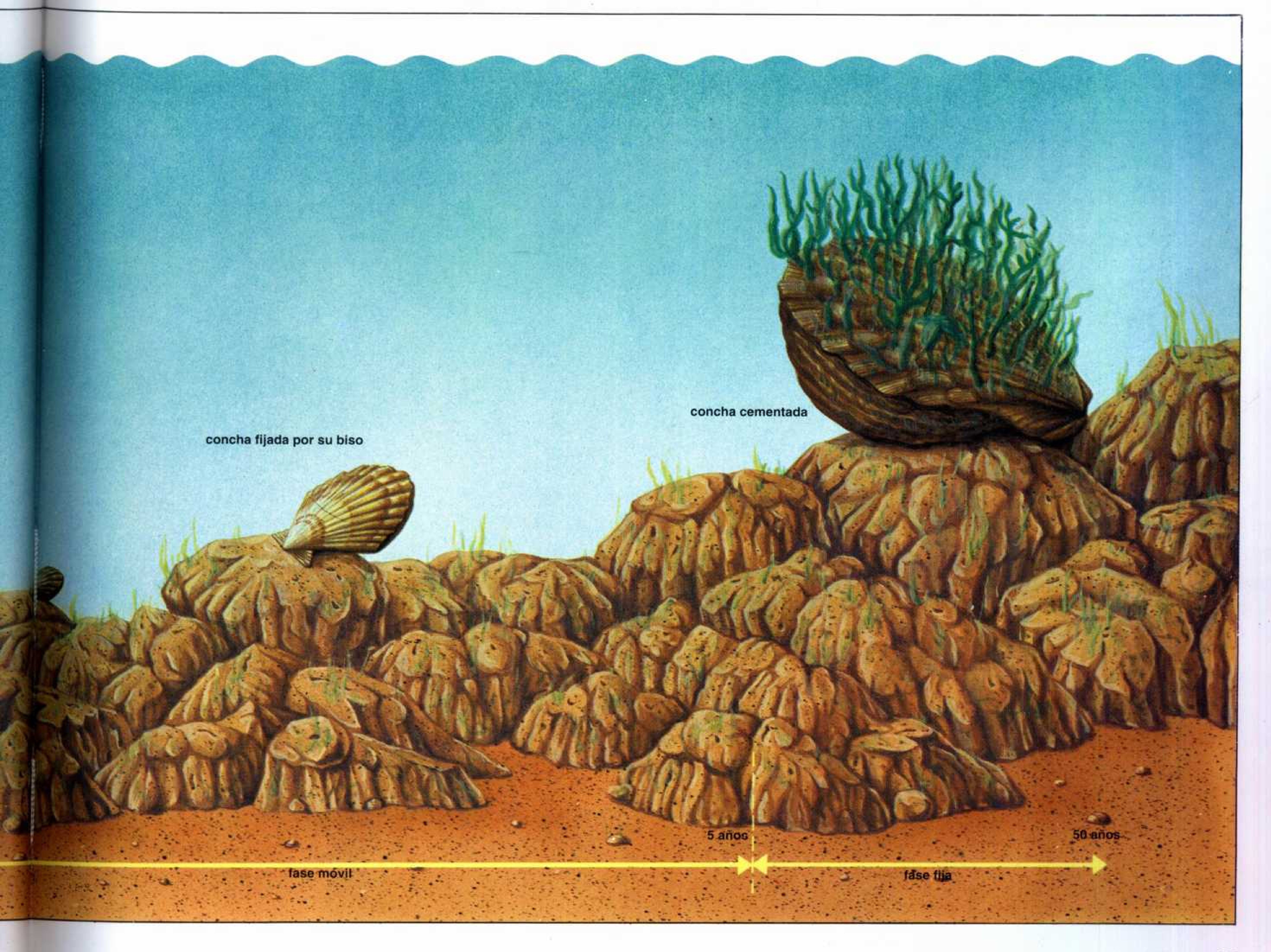
El establecimiento de las larvas constituye para ellas, como antes decíamos, un momento crucial. Lo es también para el conjunto del ecosistema. Pues todos los componentes de la biocenosis tienen un papel que jugar. Desde este punto de vista puede decirse que la llegada de los nuevos seres al «mercado» del fondo del mar, sustituyendo a los que mueren, se lleva a cabo conforme a dos principales modalidades: agregación y concurrencia, por una parte; asociación, por la otra.

La agregación y la concurrencia caracterizan a la reunión de los seres juveniles de la misma especie. Llegan todos juntos al mismo tiempo y al mismo biotopo, donde el espacio es limitado; la selección natural entra despiadadamente en juego: sólo sirven los más aptos. Se ha comprobado que en una roca de la zona intercotidal anualmente se presentan diez veces más larvas de mejillones dispuestas a fijarse que los adultos que pueden caber allí apretados «codo con codo». La concurrencia es, pues, verdaderamente feroz: buena parte de los jóvenes pretendientes serán vencidos y morirán por falta de un soporte apropiado.

La asociación de las larvas a punto de metamorfosearse con otras especies es igualmente una constante de la vida oceánica. Los tipos de asociación son en realidad múltiples, y los conocen perfectamente los ecólogos, aun cuando sus mecanismos bioquímicos y evolutivos sigan siendo misteriosos.

Además de la pura y simple depredación (que une de forma radical al depredador y a su presa) podemos mencionar el parasitismo, el comensalismo, el mutualismo y la simbiosis. Tendremos más ocasiones en el transcurso de este volumen de volver sobre estas diversas categorías de relaciones interespecíficas.

*finitiva) y su crecimiento. En el curso de esta última fase reaccionan sobre todo a la textura del substrato sobre el que se desplazan. Son igualmente sensibles a ciertos microorganismos y al olor de los adultos de su especie (esquema de la izquierda). El dibujo de abajo muestra las fases de la transformación larvaria y del crecimiento en la concha de peregrino* Hinnites. *La larva planctónica se transforma en una minúscula concha muy frágil que se fija al fondo por los filamentos de su biso. A los cinco años se cementa a la roca que le sirve de soporte.*



# Crecer y sobrevivir

La naturaleza lo ha ensayado todo. En el curso de la evolución se han probado todas las combinaciones posibles. Es una ley que se comprueba siempre que se estudia a las larvas planctónicas y a los animales de los que proceden. En el mismo grupo zoológico las variaciones pueden ser considerables. Así, en la clase de los anélidos poliquetos se encuentran especies cuya fase larvaria planctónica dura apenas unas horas, y otras en las que se prolonga más de un año. En el anélido poliqueto tubiforme calcáreo *Spirorbis spirorbis* la larva eclosiona y apenas una hora después se fija al substrato y comienza a transformarse en adulto segregando el esbozo de su tubo calcáreo (que fija generalmente a algas del género *Fucus*). Por el contrario, en los anélidos poliquetos de los quetópodos, como *Chartopterus variopedatus* o *Spirochaetopterus oculatus,* la larva vaga con el resto del plancton durante más de doce meses.

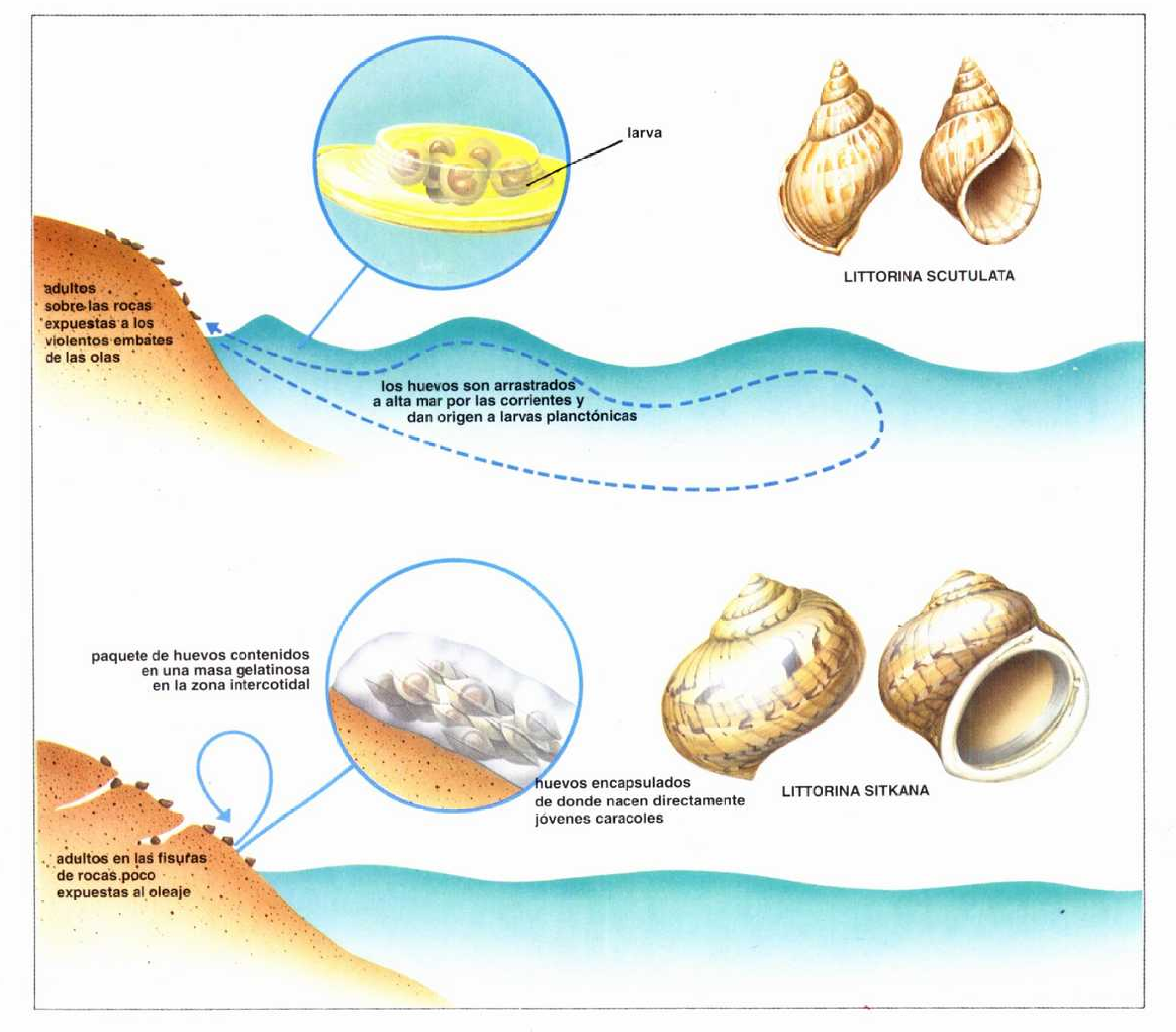
Por término medio podría decirse que la vida planctónica de las larvas de invertebrados marinos se escalona entre una y siete semanas. En este espacio de tiempo se inscriben los períodos juveniles de numerosas especies comerciales, como el mejillón *(Mytilus edulis)*, la ostra *(Ostrea sp.)*, la ostra norteamericana *(Crassostrea virginica)* o el cangrejo azul *(Callinectes sapidus)*.

Los estudios de laboratorio a este propósito han proporcionado algunas sorpresas. Por ejemplo, al observar al cangrejo nadador pelágico *Portunus sayi* se ha comprobado que vive normalmente en asociación con los sargazos y que las larvas de la especie tardan cada vez más en metamorfosearse a medida que se suceden las generaciones.

Las condiciones necesarias para el buen desarrollo de las metamorfosis pueden no presentarse nunca: las larvas vagan entonces durante algún tiempo todavía en plena agua, y luego mueren (o son devoradas por los depredadores). Innumerables son así las que las corrientes arrastran hacia aguas demasiado calientes o muy turbias, muy agitadas o muy estancadas, a fondos de arena, cuando tendrían que ser rocosos, etc. Para estas desventuradas no hay, generalmente, una segunda oportunidad.

Los nichos ecológicos son estrechos. Si en un gran número de casos las especies se asocian, en muchas otras ocasiones se contraponen, eliminando despiadadamente las más fuertes a las de características más débiles.

A veces, la ventaja tradicional de una sobre otra es muy escasa y puede desaparecer de un día para otro por una misma variación de las condiciones del medio. La composición del fitoplancton microscópico puede, por ejemplo, favorecer a tal o cual especie de larva de ostra o de bellota de mar más que a sus parientes. Una vez establecida y metamorfoseada en joven adulto, cada criatura oceánica ha doblado indudablemente un temible cabo. Ya se cuenta entre los cientos o miles o millones de individuos de su especie que han escapado a los depredadores y a las enfermedades. Es una rescatada, una especie de milagro... Estaba mejor dotada que sus hermanas para sobrevivir, y tuvo suerte, en realidad mucha suerte. Merece sobrevivir, crecer, reproducirse.

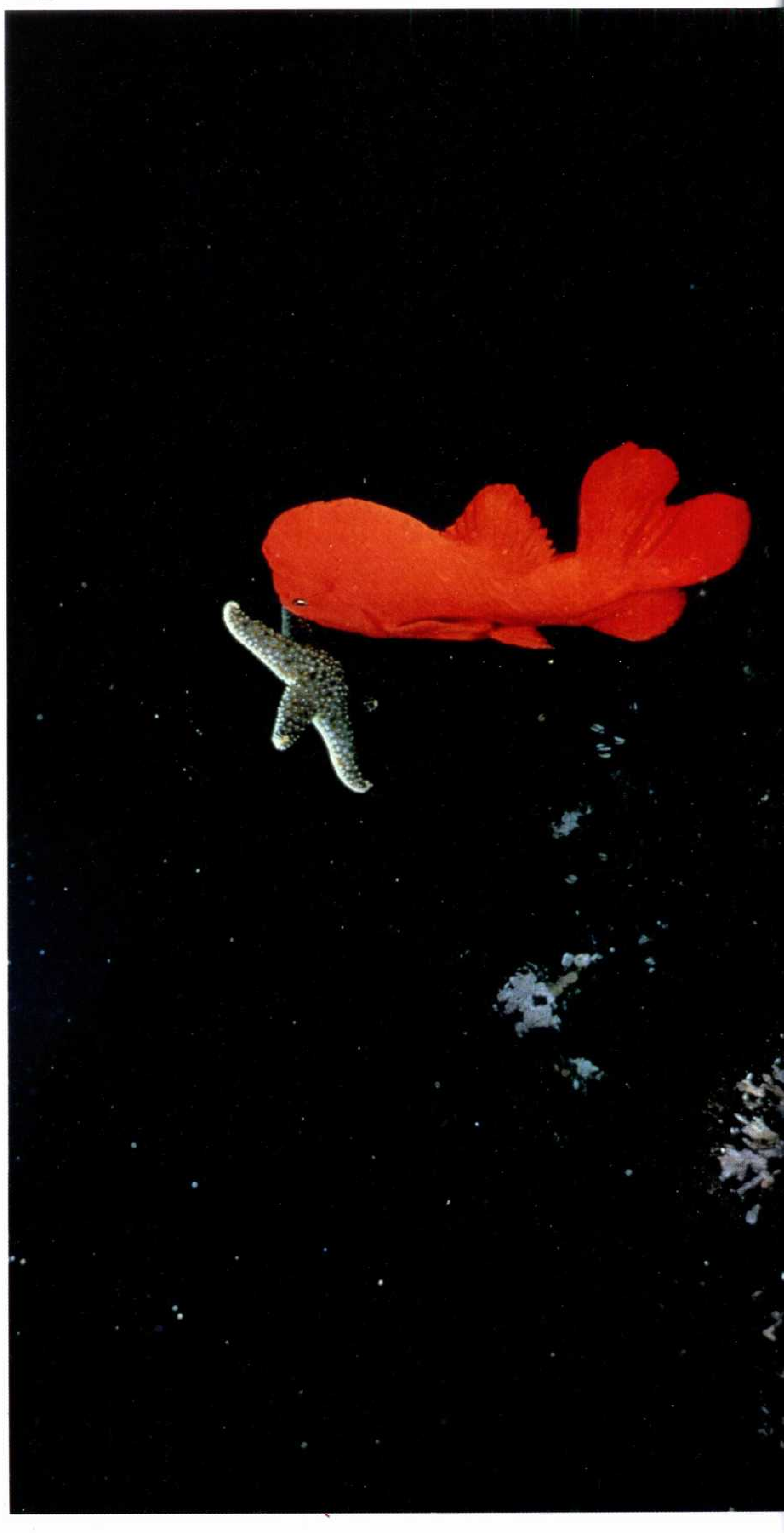



***Las litorinas o bígaros.*** *En un mismo género zoológico no todas las especies pasan por las mismas fases de desarrollo ni por los mismos medios ecológicos. Se puede así comparar, como en el esquema de al lado, las etapas de la metamorfosis en dos especies de bígaros de Estados Unidos. La primera,* Littorina scutulata, *prefiere los biotopos de rocas batidas por el oleaje; abandona sus huevos en el agua, y sus larvas llevan una vida planctónica hasta que las corrientes las depositan en la costa, donde se metamorfosean en caracoles. La segunda,* Littorina sitkana, *es propia de las orillas particularmente tranquilas; no pone los huevos en el mar, sino en una envoltura mucilaginosa que los protege de la desecación hasta su eclosión. En el primer caso, el desarrollo se efectúa por etapas; en el segundo es directo.*



# Comportamiento alimentario

# Los animales y sus problemas energéticos



La economía del mundo viviente se organizó en el mar, antes incluso de instalarse en tierra firme. De manera general, en la biosfera los vegetales clorofílicos producen sustancias energéticas básicas, que los animales (herbívoros, carnívoros, descomponedores) y los vegetales saprofitos o parásitos (hongos, etc.) utilizan para fabricar su propia materia. La clorofila y algunos otros pigmentos (citocromas) son moléculas maravillosas. Gracias a ellas, la energía luminosa del Sol puede convertirse en energía química (azúcares) con tal que haya agua y gas carbónico. La casi totalidad de la vida sobre la Tierra depende de estas reacciones fundamentales de fotosíntesis.

La productividad primaria de los vegetales marinos ha sido objeto de numerosos estudios. Por ejemplo, se ha calculado que el alga parda de los mares templados *Laminaria longicuris* proporciona 32 toneladas de materia por hectárea y año, o que las algas verdes de la barrera coralina de las islas Marshall proporcionan 39 durante el mismo tiempo y sobre la misma superficie.

Los seres vivos de un medio determinado (biotopo) forman una red alimentaria (biocenosis) donde todas las especies son interdependientes. Las plantas verdes ocupan la base de la pirámide; luego vienen los herbívoros, los carnívoros (de primero, segundo y tercer orden) y los descomponedores, que «reciclan» los cadáveres. Los parásitos juegan un papel comparable al de los carnívoros: viven de las sustancias de otros seres; pero no los matan para devorarlos, o, por lo menos, sólo los matan «a fuego lento»...

La cantidad de materia viva (biomasa) disminuye en un 90 por 100 aproximadamente cada vez que se pasa de un escalón de la pirámide alimentaria al escalón inmediatamente superior. Así ocurre cuando se pasa del fitoplancton al zooplancton; luego, del zooplancton a los peces pequeños, de los peces pequeños a los grandes; finalmente, de los peces grandes a los supercarnívoros, como las orcas. Se requieren cientos de toneladas de plancton vegetal para obtener un kilogramo de carne de cetáceo odontoceto.

Pero no todas las cadenas alimentarias son tan complejas. Entre el fitoplancton y la ballena de barbas no hay más que un escalón intermedio: el *krill*. Por lo demás, numerosas criaturas ocupan posiciones particulares en el gran edificio viviente: por ejemplo, los animales y los microorganismos coprófagos viven de los excrementos de los herbívoros y de los carnívoros; por tanto, «reciclan» rápidamente las moléculas nitrogenadas. Otras

especies se han especializado en la absorción de los restos de comida de los carnívoros: se dice que son comensales.

En el mundo viviente no se puede hablar de una «crisis energética» generalizada. Pero sí de una incesante competitividad para conseguir esta energía. Por regla general, las retroacciones y los mecanismos de salvaguardia de los ecosistemas impiden que una especie degrade a la totalidad de estos últimos, proliferando exageradamente. Como dice el profesor Jacob, la naturaleza emprende caminos «no perversos». Y como escribió Albert Einstein: «El hombre trata de fabricar para su uso y consumo un marco de vida que le parece simple e inteligible. Luego, trata de sustituir con este marco de existencia al de la naturaleza para lograr dominar a esta última (...) Hace de la construcción de este cosmos el punto cardinal del conjunto de su vida emocional, y se instala así en una especie de paz y de serenidad que antes no lograba alcanzar.»

ciclóptero
30 cm

grandes
ctenóforos
5 cm

pequeños
ctenóforos
1 cm

copépodos
0,5 cm

fitoplancton
0,1 cm

***La pirámide alimentaria.*** *Tanto en el mar como en tierra firme, la vida depende de los productores primarios, que son los vegetales clorofílicos, los únicos que fotosintetizan los azúcares (energía química) a partir del agua y del gas carbónico, utilizando para ello la energía de la luz solar. Los vegetales clorofílicos pueden ser unicelulares o pluricelulares. En el mar, la mayoría son algas microscópicas, especialmente diatomeas. Estas sirven de alimento a un microzooplancton (plancton animal microscópico), que a su vez alimenta a criaturas planctónicas mayores, las cuales nutren a peces de diverso tamaño. El esquema de al lado da una idea de la complejidad de los edificios tróficos del océano. En la página anterior: un garibaldi acaba de atrapar a una estrella de mar. Abajo: dos aspectos de erizos de mar a punto de ramonear unas algas pardas (las enormes algas kelp); pero los erizos de mar se interesan tanto por los residuos orgánicos como por las larvas y diversos animálculos.*





# Las formas de alimentarse

Los invertebrados de los océanos aprovechan una gran variedad de recursos alimentarios: bacterias, microplancton vegetal, microplancton animal, algas pluricelulares, plantas marinas, plancton animal, cadáveres de animales, partículas orgánicas, detritos...

La forma más simple de alimentarse es fagocitar partículas orgánicas, bacterias y protozoos. Así es como los protozoos mismos obtienen su energía del medio (paramecios, radiolarios, etc.). Incluso las esponjas se nutren de esta manera: sus células ciliadas especializadas (coanocitos) tragan y digieren las micropresas que sus cilios les aportan creando una corriente de agua en sus poros inhalantes. Ciertos gusanos poseen filtros para plancton. Los mejillones, y los moluscos bivalvos en general, disponen igualmente de tamices muy finos constituidos por tejidos branquiales modificados, gracias a los cuales retienen las partículas nutritivas que necesitan, y que pasan luego a su tracto digestivo (boca, esófago, estómago, intestino, ano). La filtración, primitivo medio de captura, puede ser solamente pasiva, pero la generalidad de las veces es activa.

En los animales con tentáculos, el acto de la nutrición es, si no verdaderamente activo, por lo menos reflejo. Los gusanos espirógrafos, por ejemplo, fijos por su pie al substrato, aguardan a que pequeñas presas choquen contra sus tentáculos para inmovilizarlas y tragarlas; aceleran la captura del alimento creando alrededor suyo corrientes de agua.

Numerosísimos son los invertebrados herbívoros que se nutren en su mayoría de fitoplancton, especialmente de diatomeas. Pero algunos se han especializado en el aprovechamiento de vegetales pluricelulares: ramonean las algas (laminarias, fucus, etc.) o las hierbas marinas (zósteres, posidonias).

Los carnívoros siguen siendo los más numerosos: no sólo se comen a los herbívoros, sino también entre sí, atacando los más grandes a los pequeños. Todos disponen de órganos especializados para perseguir a las presas (aletas, patas), para inmovilizarlas (tentáculos, patas captoras, dardos venenosos) y para destrozarlas (maxilas, mandíbulas, quijadas, dientes...).

A los parásitos los podemos considerar como carnívoros que matan a sus huéspedes... lentamente. Pero son tan originales sus adaptaciones particulares que merecen que los tratemos aparte. A menudo estas adaptaciones consisten en regresiones: muchos invertebrados parásitos, tras vivir una fase larvaria normal para su grupo zoológico, experimentan metamorfosis que los hacen verdaderamente irreconocibles.



*Las costumbres alimentarias. Una de las principales armas de captura de las presas y de tratamiento del alimento en las especies acuáticas es el tentáculo. Un numerosísimo grupo de especies cuentan con él. En el espirógrafo, gusano anélido poliqueto sedentario, cuyo espectacular penacho blanquísimo podemos admirar aquí al lado, los tentáculos están cubiertos de cilios vibrátiles. Los tentáculos de los celentéreos cnidarios, como las actinias que vemos abajo, están provistos de células urticantes o cnidoblastos. Algunos celentéreos cnidarios segregan un veneno sumamente peligroso para el hombre. En los moluscos cefalópodos, como el nautilo* (Nautilus) *de la página de la derecha, los tentáculos están provistos de ventosas que se adhieren a la presa y la mantienen apresada. Los nautilos son capaces de apoderarse así de peces tan grandes como ellos.*





Los coprófagos (comedores de excrementos) y los necrófagos (devoradores de cadáveres, también llamados carroñeros) pueden tener este tipo de alimentación exclusivamente. Pero muchos son también carnívoros cuando se les presenta la ocasión. Así, el bogavante no desdeña atacar al pececillo que pasa a su alcance, aun cuando su régimen alimentario esencial esté compuesto por animales muertos; por lo demás, este crustáceo es también caníbal.
Las diversas formas de nutrición de los invertebrados marinos les permiten aprovechar todos los recursos del biotopo. Algunos nadan, otros se fijan a las rocas o a los fondos de fango, otros se entierran, otros más se pegan (provisional o definitivamente) a otro ser vivo. Los depredadores son los que más se mueven. De forma general, cuanto más alto se encuentran en la jerarquía de los carnívoros, más rápida y prolongadamente nadan. Sin embargo, existen mil modos diferentes de mejorar el rendimiento de la caza, además del de moverse con rapidez. Uno es el camuflaje: no sólo le permite al animal esconderse para escapar a los depredadores mayores que él, sino que le otorga la posibilidad también de esconderse a los ojos de sus presas para así capturarlas con mayor facilidad.
Resulta imposible pasar revista a la totalidad de las adaptaciones alimentarias de los invertebrados del océano. Habría que consagrar al tema decenas de volúmenes: tantos y tan numerosos son los hallazgos de la naturaleza en este campo. Lo más sorprendente, sin embargo, es que en cada uno de los grandes *phyla* animales (dejando a un lado a las esponjas) se encuentran casi todos los tipos de alimentación imaginables. Incluso entre criaturas tan primitivas como los celentéreos se encuentran cazadores pasivos (anémonas de mar, corales) y otros más activos (hidra de agua dulce, fisalia). Entre los gusanos también se aprovechan todas las posibilidades: filtrantes *(Chaetopterus,* arenícolas o gusanas), cazadores pasivos (espirógrafos), cazadores activos *(Nereis),* parásitos, necrófagos. Lo mismo ocurre con los moluscos (bivalvos filtradores, gasterópodos cazadores, grandes calamares carnívoros), con los crustáceos (entre los cuales se cuentan en particular numerosos parásitos: pulgas de la ballena, *Sacculina),* con los equinodermos (entre los cuales las estrellas de mar practican el método de caza más extraño que imaginarse pueda: evaginan su estómago para efectuar una digestión externa; después recuperan ese órgano).

# Los animales filtrantes

UN gran número de invertebrados sésiles se alimentan filtrando las partículas orgánicas del agua, las bacterias o el plancton. Los más primitivos de los animales pluricelulares filtrantes son las esponjas. Estas, en efecto, consisten en aglomeraciones de células, todas prácticamente semejantes, sostenidas por una especie de agujas internas (espículas) calcáreas o córneas. La masa celular está perforada por numerosos agujeritos (poros inhalantes) por donde entra el agua, y un orificio de gran tamaño (ósculo) por donde sale. El movimiento del líquido es provocado por la acción de millones de cilios vibrátiles que pertenecen a células más especializadas que las otras: los coanocitos. Cuando una partícula orgánica, un protozoo, etc., choca contra los cilios de un coanocito, éste la rodea en su citoplasma y la fagocita.

Los anélidos poliquetos abundan extraordinariamente en el medio marino. Los tentáculos de estos animales están dotados de cilios que dirigen los elementos nutritivos hacia abajo, en dirección de la boca. Los cilios más cercanos al orificio bucal operan una selección de las presas en función de su tamaño: rechazan las que son demasiado grandes; sólo las que convienen exactamente al gusano terminan en su tubo digestivo.

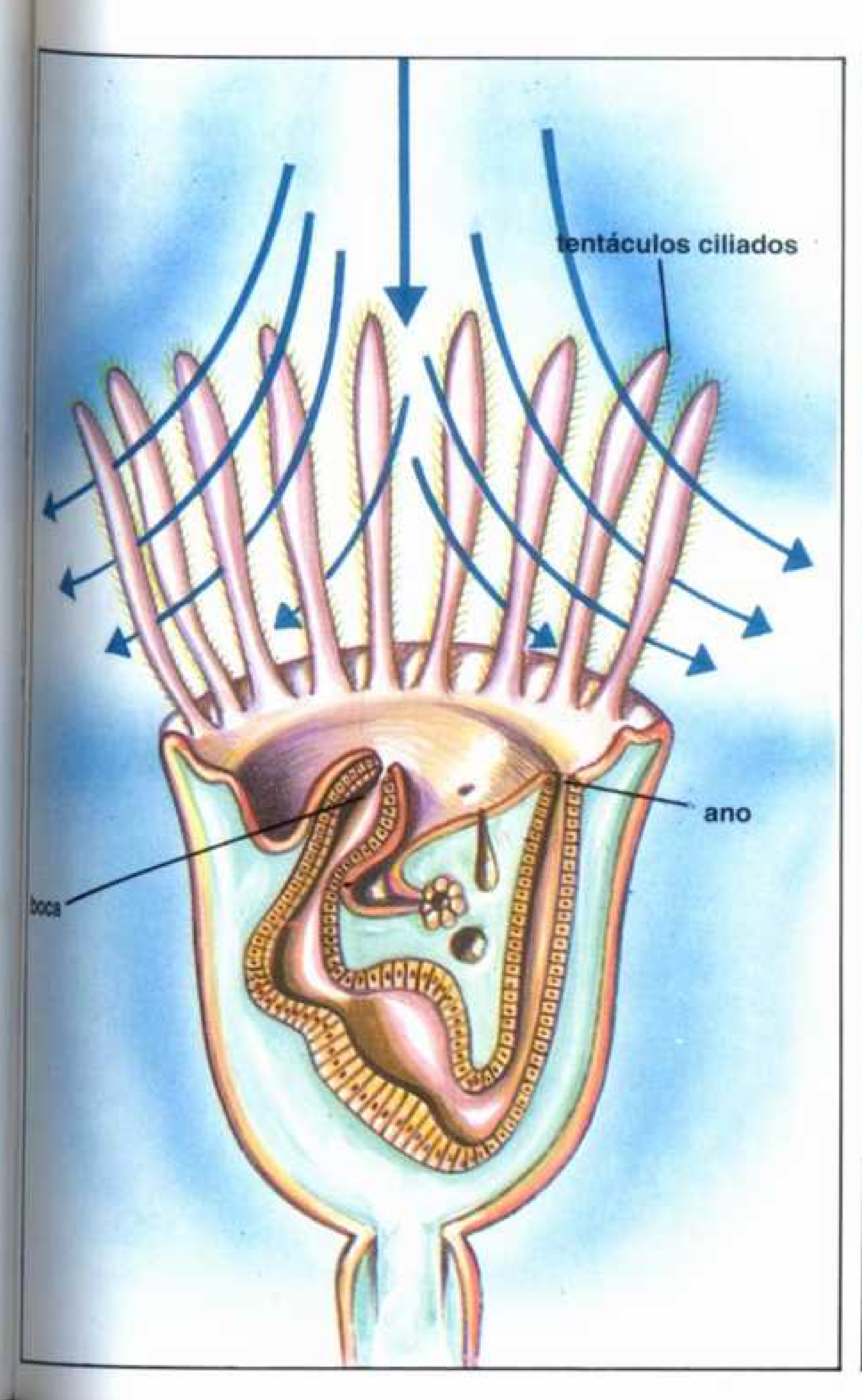
La mayoría de los moluscos bivalvos (mejillones, ostras, etc.) deben ser clasificados también entre los animales filtrantes. En ellos, los órganos de filtración consisten en un sistema de branquias modificadas, dispuestas en laminillas, pero que no han perdido, no obstante, su función respiratoria. El agua entra en la cavidad paleal del molusco por un orificio y sale por otro, después de haber dejado sobre las branquias sus partículas nutritivas o su oxígeno. El oxígeno penetra directamente en los vasos capilares. Los fragmentos alimentarios y el microplancton son retenidos por los filamentos provistos de cilios; éstos los dirigen hacia la boca del bivalvo. Como en los anélidos poliquetos, se da un sistema de selección de los alimentos en función de su tamaño.

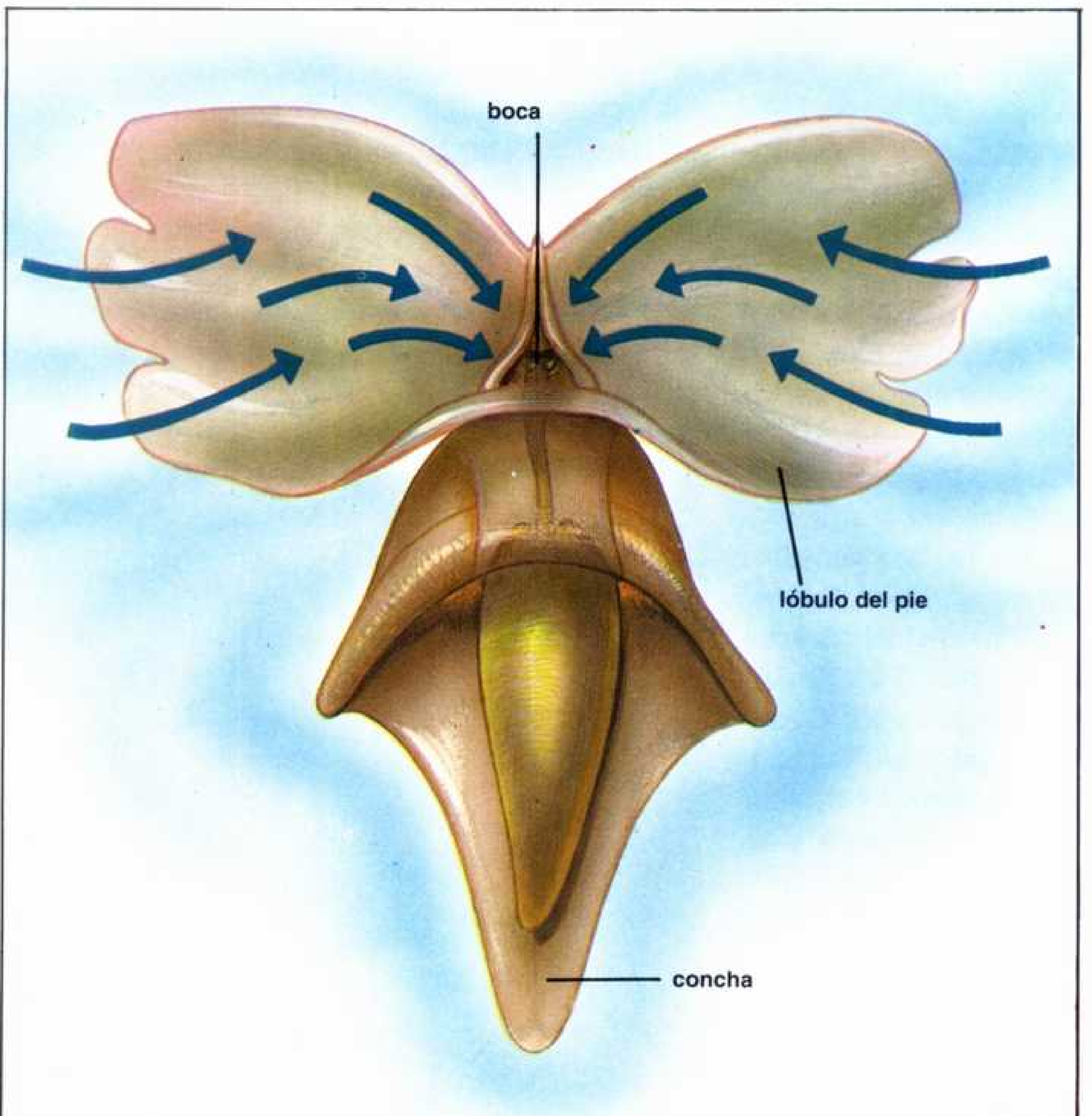
Los foronídeos, los briozoos y los braquiópodos utilizan la filtración para alimentarse, como las esponjas, los anélidos sedentarios y los bivalvos. Encima de la boca poseen un órgano en forma de herradura, dotado de numerosos tentáculos ciliados, cuya función es capturar pequeñas presas. Los cilios crean una incesante corriente de agua que arrastra los fragmentos de alimento y el microplancton (diatomeas, etc.) a los tentáculos, donde los retiene el mucus antes de llevárselos a la boca.

Un grupo de animales parientes de los briozoos, el de los endoproctos, entra también en la gran categoría de los filtrantes. Se trata de organismos de escaso tamaño, sésiles y coloniales, que viven fijos cada uno por un estilo o estolón comunitario. En la parte superior del cuerpo, abierta en cáliz, se observa una corona de tentáculos. Estos, según el esquema de funcionamiento habitual, crean una corriente de agua y retienen al pasar los alimentos (diatomeas, radiolarios u otros protozoos) que se llevan a la boca.

Son numerosos los animales adultos que se dedican a filtrar y a utilizar para ello sus cilios vibrátiles, sus branquias o sus tentáculos. Pero mucho más numerosas aún son las larvas que realizan esta forma de alimentación. Prácticamente todas se nutren de este modo, bien se trate de

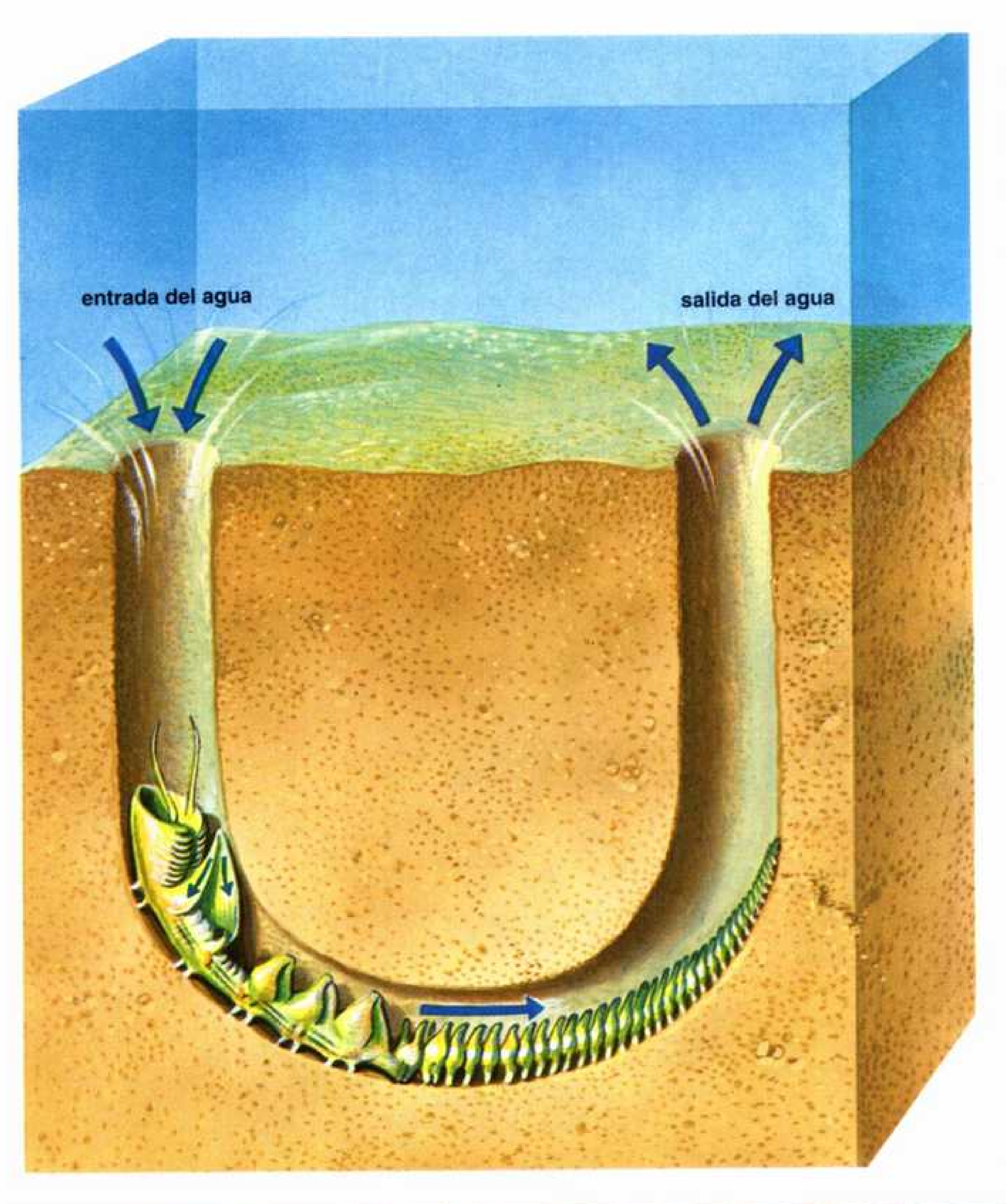




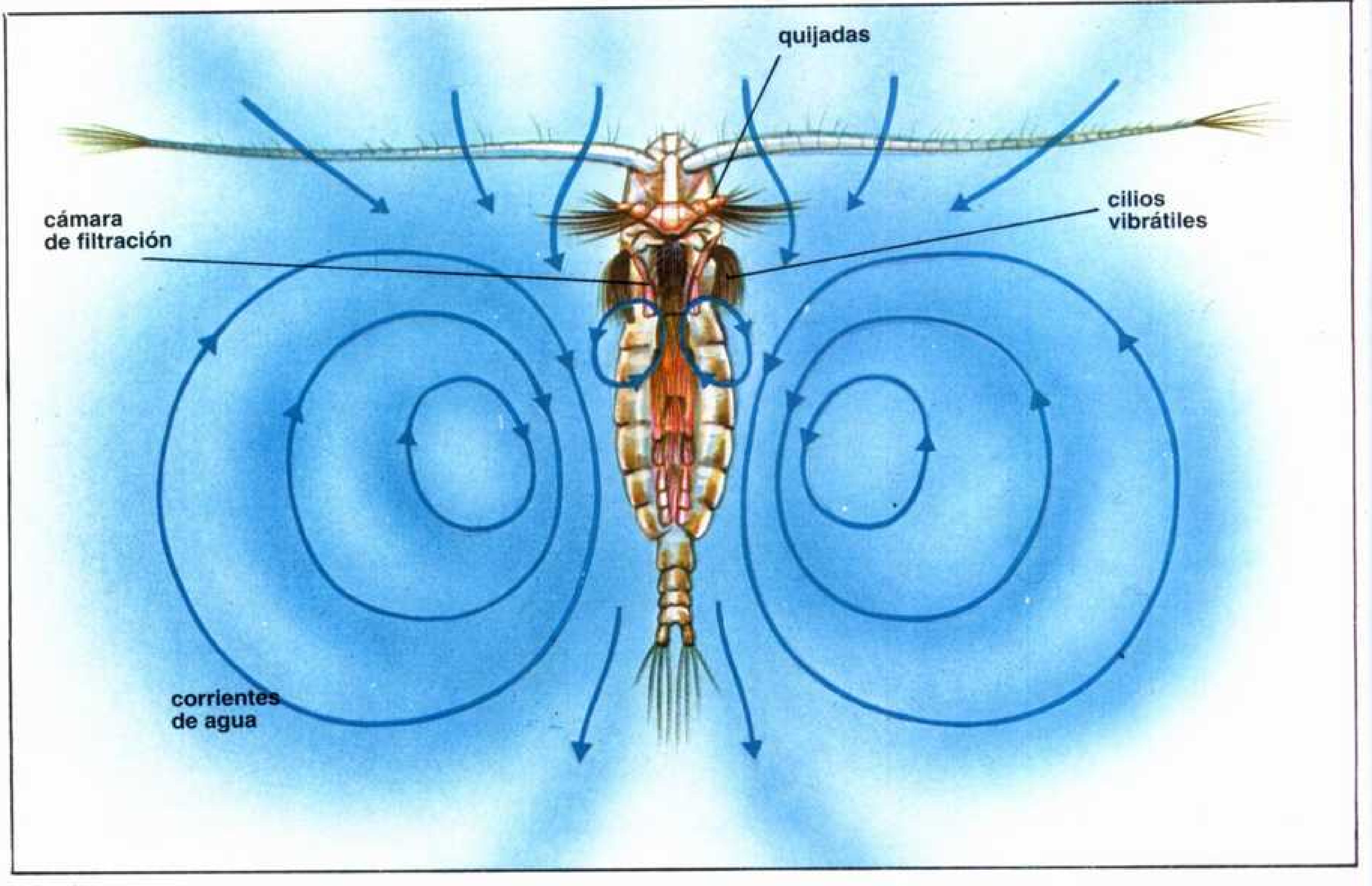




***Las corrientes nutricias.*** *Las dos fotografías de esta doble página muestran la corona de tentáculos (a la izquierda* ***cerrada****, a la derecha* ***abierta****) que acarrea las partículas alimentarias hacia la boca de las pequeñas especies coloniales que forman los briozoos* Acanthocardia tubercolata. *El esquema de la izquierda, en esta página, muestra cómo actúan los tentáculos ciliados para filtrar las partículas orgánicas y enviarlas hacia la boca de un zooide de briozoo. El esquema de al lado presenta otro tipo de adaptación en el molusco* Cavolinia*: en éste son dos lóbulos del pie los que envían el alimento hacia la boca.*

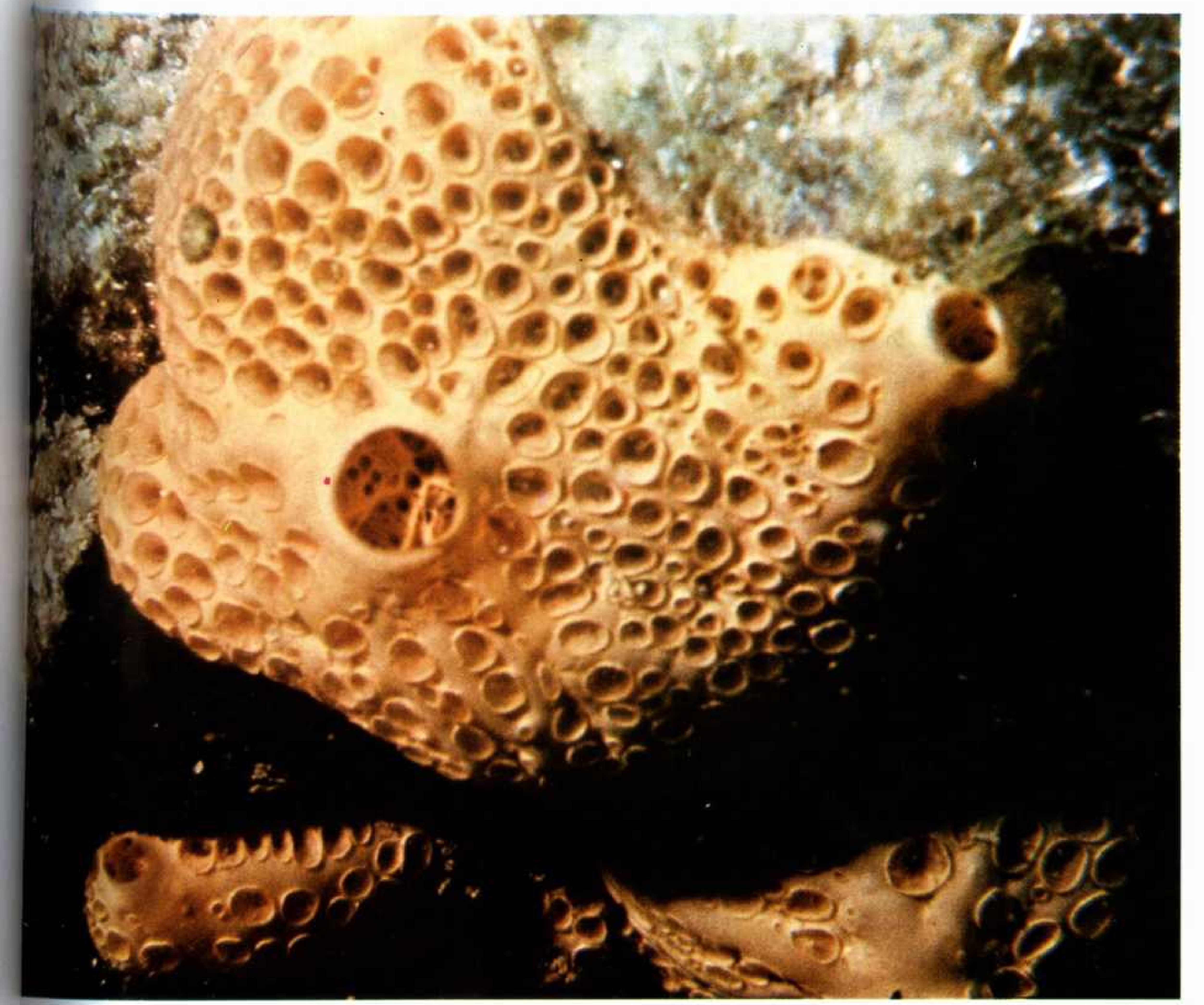
larvas velígeras de los moluscos bivalvos o gasterópodos, de las larvas trocóforas de los gusanos anélidos, de las larvas *pluteus*, bipinnaria o branquiolaria de los equinodermos, etc. Para algunas, en el momento de la metamorfosis la revolución alimentaria es radical: unas horas después de haber digerido su último «bocado» de diatomeas o de protozoos, deben, para sobrevivir, pacer algas o cazar presas.
Por filtración se alimentan también la totalidad de los crustáceos en estado larvario, y un cierto número en estado adulto. El aparato bucal de estos animales se compone de una gran variedad de artejos, algunos de los cuales tienen una función sensorial y otros una función mecánica. A las antenas y anténulas se añaden así dos mandíbulas, dos pares de maxilas y patas maxilares (o maxilípedos). En la mayoría de los crustáceos, es decir, en los más pequeños de la clase, el movimiento de los apéndices bucales crea la corriente de agua; los captores sensoriales del olfato y del gusto seleccionan los alimentos convenientes; y los apéndices mecánicos los llevan a la boca. Este modo de capturar las presas, muy primitivo, y esencialmente pasivo, es característico de un gran número de crustáceos planctónicos, como los copépodos. Se ha podido observar en laboratorio, detalladamente, la forma cómo uno de ellos *(Calanus)* agita sus antenas y anténulas para enviar el agua a sus mandíbulas, sus maxilas y sus patas maxilares; estas últimas bloquean las micropresas y las hacen entrar en la boca. En otro grupo de crustáceos pelágicos, los misidáceos, la producción de la corriente de agua está encomendada esencialmente al segundo par de maxilas. En los eufausiáceos, como el *krill*, la corriente de agua resulta del movimiento natatorio mismo del animal, y son los seis primeros artejos torácicos los que asumen la función de filtración.
Los pequeñísimos ostrácodos, crustáceos abisales, filtran sus alimentos empleando para esta tarea cerdas que guarnecen sus maxilas y su primer par de artejos torácicos. Unas glándulas situadas sobre su labio segregan un mucus que aglutina las partículas alimentarias en una especie de bolita, que las maxilas dirigen hacia la boca y que las mandíbulas acaban de triturar.
En los tanaidáceos, pequeños crustáceos aberrantes que viven en unos tubos en el fondo del océano, son los maxilípedos los que crean la corriente de agua indispensable para proveerse de pequeñas presas. Pero la filtración no es patrimonio exclusivo de los crustáceos más pequeños y más primitivos. Se observa también en los decápodos (el grupo más evolucionado de la clase), como el paguro o el cangrejo violinista. Estos últimos utilizan esencialmente a este efecto sus maxilas y las patas maxilares.
El cangrejo topo *Emerita talpoida* recurre a un subterfugio: se esconde en el corazón de los sedimentos y extiende sus antenas a ras del suelo del océano; éstas, provistas de minúsculas cerdas, retienen las partículas alimentarias o las pequeñas presas que llegan hasta ellas.
El orden de los cirrípedos agrupa a crustáceos sésiles, no parásitos, y más bien extraños. Los más conocidos son los percebes y los denominados popularmente bellotas de mar, que viven enganchados a soportes (en especial a los cascos de las embarcaciones) y que tienen una especie de «concha» que hace que a menudo se los confunda como pertenecientes al grupo de los moluscos bivalvos.




***Los métodos de filtrado.*** *Ciertos crustáceos como* Calanus finmarchicus *(debajo) filtran el alimento utilizando una serie de cerdas dispuestas en sus piezas bucales, especialmente en sus maxilas; para esta tarea emplean también sus antenas. En los gusanos anélidos poliquetos que pertenecen a la infauna bentónica, como los del género* Chaetopterus *(aquí a la izquierda), el procedimiento de filtrado es particularmente ingenioso. El animal vive en un túnel que excava él mismo. Un dispositivo de apéndices y de placas estriadas conduce el alimento contenido en la corriente de agua hacia su boca. El agua sale por la otra extremidad del túnel.*



Sus órganos filtrantes están constituidos por seis pares de artejos torácicos provistos de cerdas que sobresalen de la concha. Cada artejo está partido en dos largos cirros que efectúan movimientos de latidos regulares (140 por minuto) y que crean así una corriente de agua. El primer par de artejos está más particularmente encargado de recoger las partículas aportadas por el flujo líquido y llevarlas a la boca del animal.
Los equinodermos se dividen en cinco clases (crinoideos, ofiuroideos, holoturoideos, equinoideos y asteroideos). Los más primitivos, esto es, los crinoideos (lirios de mar), comátulas), se alimentan por filtración. Están fijos al fondo del mar y en la cima de un largo pie (que más parece el tallo de una flor) abren una «corola» de brazos provistos de apéndices ambulacrales, tapizados a su vez de un epitelio ciliado. Estas estructuras se mueven en el elemento líquido, recogen en él los alimentos y los llevan hacia la boca del animal. No siempre son cinco los brazos de los crinoideos; pueden ser más si las aguas en las que la especie reside escasean en alimento (lo que ocurre especialmente en los abismos).
Animales filtrantes se dan también en el *phylum* de los cordados, que abarca a los procordados y los vertebrados. Entre los procordados, las ascidias, las salpas y las apendicularias se nutren de este modo. Estos animales recogen el plancton del agua, extrayéndolo gracias a unos poros (o estigmas) situados en su pared faríngea. Las ascidias son animales bentónicos sésiles rodeados por una túnica dura o de textura como goma, que presenta una entrada y una salida; el orificio de entrada, o sifón bucal, asegura la transferencia del agua hacia los poros faríngeos, pues está tapizado de cilios vibrátiles. Las partículas nutritivas quedan retenidas por las secreciones mucosas; descienden al esófago y el agua sale por el sifón posterior. Una ascidia de unos centímetros de longitud puede filtrar de esta manera unos 150 litros de agua al día.
Las salpas se alimentan de igual forma, con la única diferencia de que la corriente de agua en ellas la crea una serie de contracciones musculares del cuerpo. En las apendicularias, pequeños animales transparentes que viven en el interior de una «casa» gelatinosa, el agua que entra por el sifón bucal pasa a través de dos redes a manera de cribas sucesivas.
Si la mayoría de los animales filtrantes pertenecen al vasto grupo de los invertebrados, y si algunos otros deben ser clasificados entre los procordados, no hay que olvidar que entre los vertebrados se da también este procedimiento de alimentación. Por no citar más que dos ejemplos, recordemos que los flamencos rosas tienen un pico cribador adaptado para recoger animalillos del fango y que los cetáceos misticetos, o ballenas de barbas, poseen varios cientos de laminillas córneas reunidas en finos filamentos, gracias a las cuales «espumean» el zooplancton.





***Las esponjas.** A las esponjas se las llama también poríferos, precisamente porque están perforadas por numerosos poros inhalantes por los que entra el agua en sus tejidos, y un orificio más ancho, el ósculo, por donde sale el agua. Esta es arrastrada al cuerpo del animal por el juego de millones de cilios vibrátiles, que pertenecen a células especializadas encargadas igualmente de digerir las partículas alimentarias recogidas: los coanocitos. En las fotografías de al lado se ve arriba una esponja llena de agua y abajo casi vacía.*

# Los carnívoros pasivos



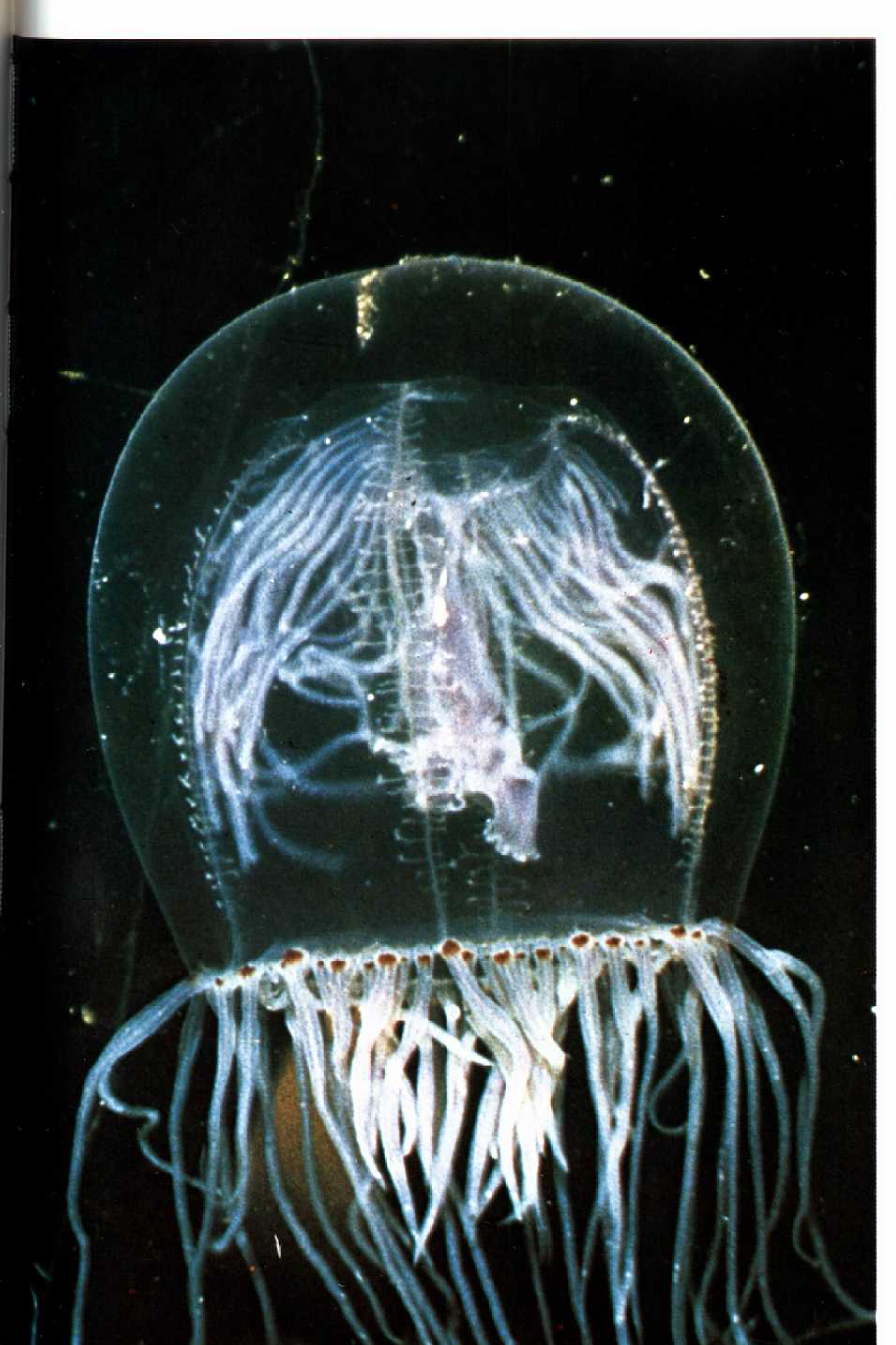


Los celentéreos son animales muy simples y primitivos. Además de las minúsculas hidras de agua dulce, los más conocidos son las anémonas de mar, las medusas, las gorgonias y los corales. Se trata de animales bentónicos o planctónicos, que viven devorando pequeñas presas que capturan con sus tentáculos. En el *phylum* de los celentéreos cnidarios, estos tentáculos están dotados de células urticantes, que incorporan un cilio sensible (cnidocilo), un látigo inyector y una ampolla de veneno. Estas células reciben el nombre de cnidoblastos o nematocistos. No existen, en cambio, en los animales del *phylum* de los celentéreos ctenarios o ctenóforos.

Las medusas «clásicas» tienen la forma de una sombrilla, bajo la cual penden los tentáculos. Pertenecen a la clase de los escifozoos. Van a la deriva a merced de la corriente. Cuando una presa desventurada se topa con sus tentáculos, los cnidoblastos le inyectan su veneno y la matan. Y cuando la víctima está inmovilizada, la sombrilla se lleva sus brazos tentaculados en dirección de la boca. La presa pasa a su cavidad general, donde la digieren las enzimas. Los restos inutilizados son desechados por la abertura única del animal, que es así una auténtica boca-ano.

La fisalia, o fragata portuguesa, es famosa porque el veneno que sus cnidoblastos inyectan es peligroso para el hombre —a veces incluso mortal—. No se trata de una medusa «clásica», sino de una colo-

a b c d



***La captura de las presas.*** *Muchos celentéreos sólo consumen partículas orgánicas dispersas o presas de pequeño tamaño. Pero algunos han aprendido, por así decir, a ser más voraces. En las dos fotografías de arriba (en la página anterior) se advierte un pequeño cangrejo blanco que lucha en vano por escapar a los tentáculos de una anémona de mar: será paralizado y digerido. La secuencia de dibujos de aquí, a la izquierda, muestra cómo el hidrozoo* Hydractinia equinata *opera para capturar a un copépodo con ayuda de sus tentáculos (a), para engullirlo en su cavidad general (b), para expulsar los tegumentos quitinosos indigestos (c), y para volver a ponerse al acecho (d). Arriba se puede admirar la transparencia de una medusa. Este celentéreo escifozoo posee una especie de «sombrero» hemisférico, bajo el cual penden decenas de tentáculos provistos de cnidoblastos venenosos. Cuando un desventurado animal choca con los tentáculos es rápidamente paralizado por el veneno. Los brazos se doblan hacia la sombrilla y acercan la presa a la boca del celentéreo. La mayoría de las especies marinas temen a las medusas, incluso si su tamaño las pone al reparo de un mal encuentro. Sin embargo, existen peces que se pasean entre los mortales tentáculos y que incluso los mordisquean... Las medusas constituyen la presa favorita de las tortugas laúd.*

nia de animales de la clase de los hidrozoos. Su parte flotante, llena de gas, está formada por zooides especializados (los grastrozooides), mientras que sus largos brazos, que alcanzan hasta 10 metros, están constituidos por los dactilozooides. Estos últimos paralizan y matan a los animales que se presentan y luego se contraen (hasta medir apenas unas decenas de centímetros): entonces, los zooides digieren las presas.

Los antozoos comprenden las anémonas de mar (o actinias) y los corales. Las primeras se fijan sólidamente a un soporte (roca, caparazón de un molusco); su cuerpo cilíndrico y de consistencia como de goma acaba en un orificio buco-anal rodeado de largos tentáculos. El animal puede recoger estos últimos y encogerse en caso de peligro. Cuando caza, por el contrario, los despliega en la corriente; las presas imprudentes, muertas por el veneno de los cnidoblastos, pasan a la cavidad general. Las actinias se alimentan en general de víctimas pequeñas, pero a veces capturan peces. Sin embargo, los peces payaso se han adaptado a vivir en medio mismo de los tentáculos de las anémonas, con las que mantienen relaciones de simbiosis sobre las que volveremos más adelante.

Los corales forman colonias más o menos numerosas. Su cuerpo (pólipo), de escaso tamaño (entre uno y diez milímetros de tamaño), segrega un pedestal de caliza (polípero). Cada pólipo captura por su propia cuenta criaturas animales planctónicas.

Los celentéreos ctenóforos son también carnívoros. Cuentan con un cuerpo transparente y tentáculos, y nadan gracias a ocho hileras de cilios vibrátiles que recuerdan a peines (de aquí su nombre: «peine» se dice *cteis* en griego). Sus tentáculos, como hemos mencionado, no están provistos de células urticantes, pero también llevan células especializadas, los coloblastos, que segregan una sustancia adhesiva utilizada para capturar a las presas. Cuando un ctenóforo —como *Pleurobrachia,* por ejemplo— es rozado por un animalillo, pez o invertebrado, lo atrapa con sus tentáculos viscosos y se lo lleva a la boca, utilizando especialmente a este efecto, sus hileras de cilios vibrátiles. Los celentéreos, ampliamente carnívoros, consumen, no obstante, también plancton vegetal. Algunos, como las medusas *Aurelia,* hacen de él incluso su alimento básico. *Aurelia* captura, en las corrientes con las que va a la deriva, miles y miles de organismos vegetales flotantes, que sus tentáculos descargan cerca de su punto de inserción. Desde allí, la «pastura» llega a la boca gracias a la labor que desarrolla una sucesión de cilios vibrátiles.

# Los depredadores

Muchos animales marinos invertebrados se han adaptado a la captura activa de las presas. Puede decirse que fueron los gusanos planos, o platelmintos, los que «inventaron» los instrumentos más primitivos necesarios para esta forma de alimentarse: poseen órganos externos adhesivos que les permiten inmovilizar a sus presas tras perseguirlas y alcanzarlas. Los gusanos planos siguen siendo animales poco evolucionados, pero son las primeras criaturas con tres láminas embrionarias, razón por la cual representan una etapa evolutiva capital. Las esponjas y los celentéreos sólo tienen dos láminas embrionarias. Y todos los demás animales tienen tres.

Los órganos de los sentidos están en general bien desarrollados en los depredadores, que deben localizar a sus víctimas con mucha precisión, matándolos de un golpe certero.

Los platelmintos se dividen en tres clases. La primera es la de los turbelarios, cuyo tipo es la planaria, que vive en las charcas de agua dulce. Estos animales, muchos de los cuales habitan en el mar, comen pequeños invertebrados, vivos o muertos, que localizan con sus rudimentarios ojos, pero sobre todo merced a sus órganos de sensibilidad química. Capturan a sus presas empleando para inmovilizarlas agregaciones de células con mucus situadas en su cara ventral. Su intestino está tapizado de células fagocitarias. Se muestran extraordinariamente voraces, pero pueden también ayunar por períodos prolongados: entonces disminuyen de tamaño... Cuando descubren a una nueva presa, se echan sobre ella y se la tragan. Si es demasiado gruesa, pueden (por lo menos algunos) evaginar una parte de su faringe y proceder a una digestión parcial externa.

Los gusanos redondos, o neomatelmintos, son a menudo parásitos, como los áscaris, los oxiuros, las triquinas, las filarias (que pueden infestar al hombre) o las anguílulas (que invaden los tejidos vegetales). Los nemertinos, por el contrario, viven libremente. Los más abundantes pertenecen a la especie *Lineus ruber*, que habita bajo las piedras de la zona intercotidal, y apenas mide de dos a tres milímetros de diámetro, con una longitud de varios metros. La especie más larga del grupo, *Lineus longissimus*, ¡pasa de los 25 ó 30 metros! Estos animales poseen una trompa que les sirve para procurarse el alimento, pues se evagina y está a veces armada de estiletes calcáreos. Cuando ayunan, los nemertinos disminuyen extraordinariamente de tamaño, fagocitando algunas de sus células a las demás: lo importante es que el animal sigue viviendo.

Los gusanos segmentados, o anélidos, son con mucho los más evolucionados. Constituyen un *phylum* mucho más homogéneo que los gusanos planos o los gusanos redondos. Se les divide en tres clases: los hirudíneos, que son parásitos externos, y comprenden todas las sanguijuelas; los oligoquetos, que viven en las aguas dulces o en la tierra húmeda, y cuyo tipo es la lombriz de tierra, y los poliquetos, casi todos marinos, que viven libres en el agua (grupo de los errantes: *Nereis*, palofos, *Eunice*...) o bien están fijos en el fondo del mar (grupo de los sedentarios: arenícola, *Sabella*, sérpula, espirógrafo).

Los anélidos errantes, por su parte, se caracterizan por sus costumbres despredatorias. *Nereis*, por ejemplo, que se arrastra por el fondo o nada libremente en el agua, posee una cabeza provista de numerosos órganos sensoriales (ocelos, antenas, palpos, cirros tentaculares) que le permiten localizar a las presas. Su boca ventral está circundada por dos poderosas mandíbulas, que tienen por función aferrar a las víctimas; pero la principal arma ofensiva del animal es su faringe, que puede evaginarse y que, una vez fuera, forma una poderosa trompa armada con protuberancias quitinosas... Los anélidos poliquetos la emprenden contra todo tipo de pequeñas criaturas bentónicas y planctónicas. Algunos no desdeñan tampoco los cadáveres que encuentran a su paso; otros son parcialmente herbívoros. Sus órganos de los sentidos, muy sensibles, los hacen ser temibles cazadores, teniendo en cuenta su tamaño.

En el mar se encuentran varios grupos de gusanos cuyas afinidades evolutivas no son del todo conocidas todavía. Muchos son de pequeño tamaño. Los gastrotricos (0,5 milímetros) y los equinoderos, que se arrastran por el fondo entre las algas, han sido asimilados a los nematelmintos. Pero no se sabe muy bien cómo clasificar a los priapuloideos y los quetognatos. Estos últimos son pelágicos y se caracterizan por sus aletas *(Sagitta; Spadella)*. Su boca está rodeada de quetas curvas muy duras y aceradas que les sirven para inmovilizar a las presas. Los sipunculoideos y los equiuroideos se asimilan a los anélidos poliquetos.

En la rama de los moluscos abundan también los depredadores. Si los bivalvos pertenecen casi todos al grupo de los filtrantes, ciertos aplacóforos, como los neménidos, pacen los vegetales o se pegan a las colonias de briozoos y de celentéreos. Los poliplacóforos, como los quitones, tienen una lengua rasposa (rádula) que les permite atacar a otros animales, como hacen los monoplacóforos, al estilo de *Neopilina*. Los escafópodos (colmillos de mar, etc.) son excavadores y viven de mi-



***Los gusanos depredadores.*** *Un cierto número de gusanos planos, como los que aparecen en las dos fotografías de arriba, tienen por costumbre cazar muy activamente a sus presas. Para matarlas utilizan diversos métodos. Uno de los más curiosos consiste en su trompa retráctil, que evaginan bruscamente, y que posee un estilete perforador. Las cuatro especies de platelmintos de esta doble página son depredadoras. Pero muchos otros animales de este* phylum *han adoptado un género de vida parasitaria (duela del hígado, tenia, gran botriocéfalo).*



cropresas. De hecho, los grandes depredadores del *phylum* son los gasterópodos y los cefalópodos. Los gasterópodos se desplazan arrastrándose por el suelo; tienen tentáculos sensoriales y una boca dotada de una poderosa rádula. Algunos son venenosos, como los conos. Otros no tienen concha, como los nudibranquios. Muchas especies son herbívoras y ramonean las posidonias o las algas. Pero la mayoría son cazadoras. Se clasifican en la subclase de los prosobranquios, animales como las fisurelas, las orejas de mar, las lapas, los bígaros, los conos, las cañadillas, las bocinas, los tritones, etc. Los tritones, enormes conchas de los mares tropicales, son, por ejemplo, depredadores de las estrellas de mar, mientras que las bocinas abren las conchas de los bivalvos. En la subclase de los pulmonados se encuentran el caracol terrestre, la babosa y numerosas especies de agua dulce *(Limnaea,* etc.). En la subclase de los opistobranquios se clasifican las aplisias, o liebres de mar, de concha muy reducida, y los nudibranquios *(Doris, Eolis),* que carecen totalmente de concha. Los nudibranquios atacan a gran número de invertebrados marinos. Los conos *(Conus)* poseen una rádula armada con dientes venenosos, cuyo temible veneno tiene efectos comparables a los del curare; el animal se sirve de ella tanto para defenderse de sus enemigos como para inmovilizar instantáneamente a sus presas. Dispone asimismo de un sorprendente sistema que le permite catapultar sus pequeñas flechas emponzoñadas a distancias varias veces iguales a su propia longitud.

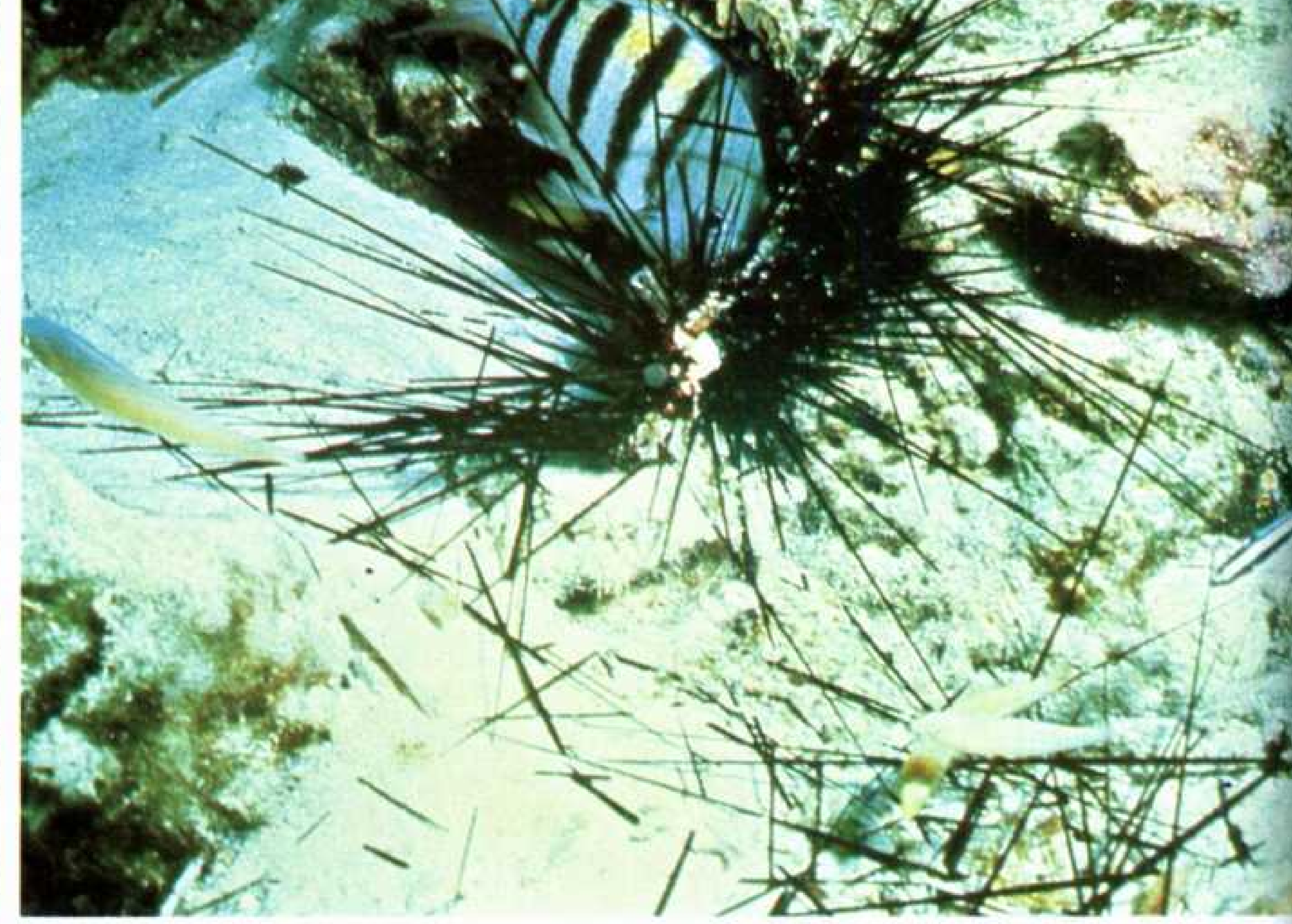
Los moluscos cefalópodos (sepias, calamares, pulpos, argonautas, nautilos), todos carnívoros y depredadores activos, poseen como arma principal un sistema nervioso altamente integrado —el más complejo y eficaz que se puede encontrar entre los invertebrados—. Nadan activamente (si es necesario, por reacción) y capturan a sus presas apretándolas con los tentáculos provistos de ventosas. Tienen la boca con dos mandíbulas córneas en forma de pico de loro (con las que desgarran las carnes), una rádula rasposa y glándulas salivares cuya secreción es tóxica. Los pulpos cazan a menudo al acecho: bien escondidos en sus madrigueras, y adoptando la tonalidad del fondo sobre el que se encuentran, aguardan a que alguna presa (pez, langosta, etc.) pase a su alcance para atraparla de inmediato. Y se meten en su agujero para comérsela. Los calamares del género *Loligo* y las sepias la emprenden sobre todo con los cardúmenes de pececillos. Los calamares gigantes de las profundidades *(Architeuthis)* acechan a los peces abisales o a otros calamares, pero son a su vez víctimas de los cachalotes.

Las límulas, o cacerolas de las Molucas, pertenecen a la rama de los artrópodos; pero se parecen más a los arácnidos (arañas, escorpiones) que a los crustáceos. Se les clasifica en la clase de los xifosuros o merostomas. Su principal arma de ataque, como en las arañas, está compuesta por dos apéndices peribucales en forma de pinza: los quelíceros. Sus cuatro primeros pares de patas ambulatorias terminan también en pinzas y su artejo de base se ensancha en una lámina espinosa, que sirve para triturar las presas una vez capturadas. Las límulas escarban la arena y el fango en busca de gusanos y de moluscos; a veces desgarran también algas. Otro grupo de artrópodos quelicerados (provistos de quelíceros) habita el fondo de los mares: son los picnogónidos, que se parecen a grandes arañas subidas a unas interminables patas. Viven a expensas de las anémonas de mar, de los corales y las esponjas.

Los crustáceos cuentan en sus filas con numerosos depredadores, aun cuando muchos de ellos sean más bien carnívoros pasivos, y entre los carnívoros activos una buena proporción sean también carroñeros voluntarios. Estos animales utilizan para localizar a sus presas toda una panoplia de órganos sensoriales: ojos, palpos, antenas, etc. Tienen en general un sentido químico extraordinariamente desarrollado. Cuando encuentran una presa, la inmovilizan con sus patas torácicas; con frecuencia, el primer par de estos apéndices termina en unas pinzas eficaces (algunas gambas, los bogavantes, los cangrejos...). En este esquema general se han insertado todo tipo de adaptaciones. La gamba *Sergestes,* por ejemplo, tiene en sus antenas una cerda rígida en forma de gancho; se sirve de sus apéndices como de látigo para enganchar a las presas y llevárselas a la boca. La quisquilla *Crangon* recibe con mucho acierto el sobrenombre de «gamba-pistola»; posee un par de pinzas que puede «armar» como el tambor de un revólver; cuando se presenta una presa, «dispara»; el ruido producido al desencadenarse el mecanismo es lo bastante fuerte como para aturdir a un pez pequeño.

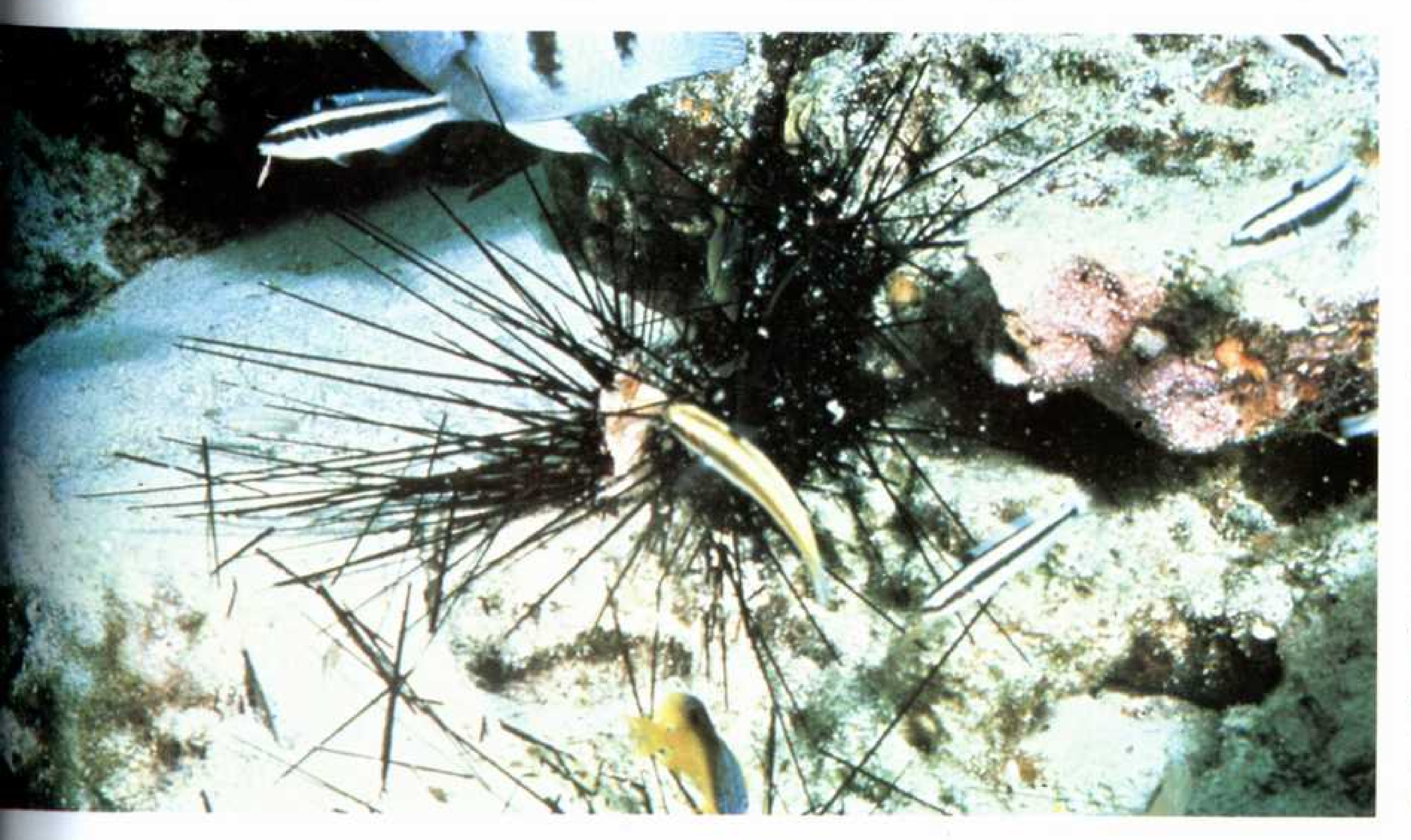
Entre los crustáceos existe un orden de animales que los científicos llaman estomatópodos y que merecen perfectamente su nombre vulgar de «gambas-mantis religiosa». Como las santateresas, estas gambas poseen patas «prensiles», por así decir, adaptadas para capturar rápidamente y tener aferradas las presas (se trata del segundo par de apéndices torácicos). Estas patas parecen tenazas, con una rama más gruesa que la otra. El «dedo» más delgado presenta un filo tan cortante como la hoja de un cuchillo; en reposo, se esconde en una hendidura longitudinal del «dedo» más grueso. Los estomatópodos cazan al acecho o persiguen activamente a sus presas, que escogen entre un gran número de invertebrados y de pececillos.





La rama de los equinodermos comprende, como dijimos antes, cinco clases: crinoideos, holoturoideos, ofiuroideos, asteroideos y equinoideos. Los crinoideos se alimentan filtrando el agua que los baña. Los holoturoideos, o cohombros de mar, se arrastran por el substrato en busca de micropresas; cuando las han localizado, algunos evisceran una parte de su tubo digestivo para alimentarse de ellas; en caso de peligro recurren a este mismo procedimiento: abandonan entonces simplemente sus órganos digestivos al depredador, y escapan. Su estómago y dependencias se regeneran rápidamente.

Los ofiuroideos, o estrellas de mar, y sobre todo los asteroideos, o verdaderas estrellas de mar *(Asterias, Pisaster, Astropecten, Solaster,* etc.), son temibles depredadores, que entran a saco especialmente en los bancos de bivalvos. La emprenden, según su propio tamaño, con conchas de todo tipo: mejillones, ostras, vieiras, etc. Las aprietan con sus brazos, las obligan a entreabrirse y evisceran su estómago para digerirlas en el sitio (si se trata de presas más pequeñas, practican la digestión interna «normal»). Los ofiuros y las estrellas de mar no desdeñan los cadáveres. Algunos tienen preferencia por determinados bivalvos, pero el lamelibranquio no siempre les deja actuar. Los equinoideos, esto es, los erizos de mar, se pasean lentamente por el fondo buscando la más diversa comida, compuesta de residuos orgánicos, de fragmentos de plantas y de pequeñas presas. Estos animales poseen un aparato masticador muy perfeccionado en forma de pico de cinco ramas, llamado linterna de Aristóteles.



***La conquista del alimento.*** *Las diversas especies animales han desarrollado medios de defensa contra los depredadores. Pero éstos con frecuencia salen triunfantes. La langosta (arriba) no tiene posibilidad alguna contra el pulpo: éste la aprieta con sus tentáculos, la paraliza con el veneno de sus glándulas salivares y la arrastra a su madriguera, donde corta el caparazón con ayuda de su poderoso pico de loro. El erizo de mar, bien defendido con sus temibles agujas que cubren su dermatoesqueleto, tiene también despiadados enemigos. En la secuencia de fotografías de al lado se ve cómo el pez sargento mayor, o abudefduf (azul y amarillo, rayado en negro), lo despedaza y lo abre para consumir su carne. Después de que ha comido peces más pequeños, como los peces doncella, acude a terminar de consumir los restos.*

# Los devoradores de detritos

EN el mar no se pierde nada. Al paso de los milenios, la evolución ha forjado miles de organismos capaces de vivir de desechos, habría que decir incluso *especializados* en el tratamiento y «reciclado» de los detritos. Podría ciertamente afirmarse que cada *phylum* de animales posee sus especies detritívoras. Las esponjas y los celentéreos digieren las partículas orgánicas que las corrientes les llevan. Entre los gusanos, son legión los aficionados a los desechos. La mayoría de las formas fijas (anélidos sedentarios, por ejemplo) recogen las sustancias orgánicas en suspensión merced a sus tentáculos. Los gusanos excavadores, que se clasifican entre los platelmintos, los nematelmintos o los anélidos, tienen por costumbre tragar la arena y el fango en los que viven; las partículas orgánicas consumibles son tratadas en su intestino y los materiales inertes vuelven a salir por el ano. Así, por ejemplo, se alimentan los anélidos poliquetos de la familia de los maldanideos, llamados también gusanos-bambú. Es la réplica, en el fondo de los mares, de lo que hacen en tierra las lombrices en nuestros prados y jardines. La importancia ecológica de los gusanos excavadores del bentos es comparable a la de los gusanos de tierra: «reciclan» las partículas orgánicas, que si no se perderían, y oxigenan el medio en el que excavan sus galerías.

Entre los equinodermos, ciertas holoturias viven también escarbando el substrato sedimentario y extrayendo de él las partículas orgánicas que ingieren. Para encontrar comida utilizan sus largos tentáculos ramificados. Absorben, todo junto, la arena o el lodo y las materias nutritivas que en ellos se esconden y vacían luego su intestino de los materiales inutilizables. Se ha comprobado que una especie de cohombro de mar del género *Stichopus* llenaba de arena y vaciaba tres veces diarias su tubo digestivo.

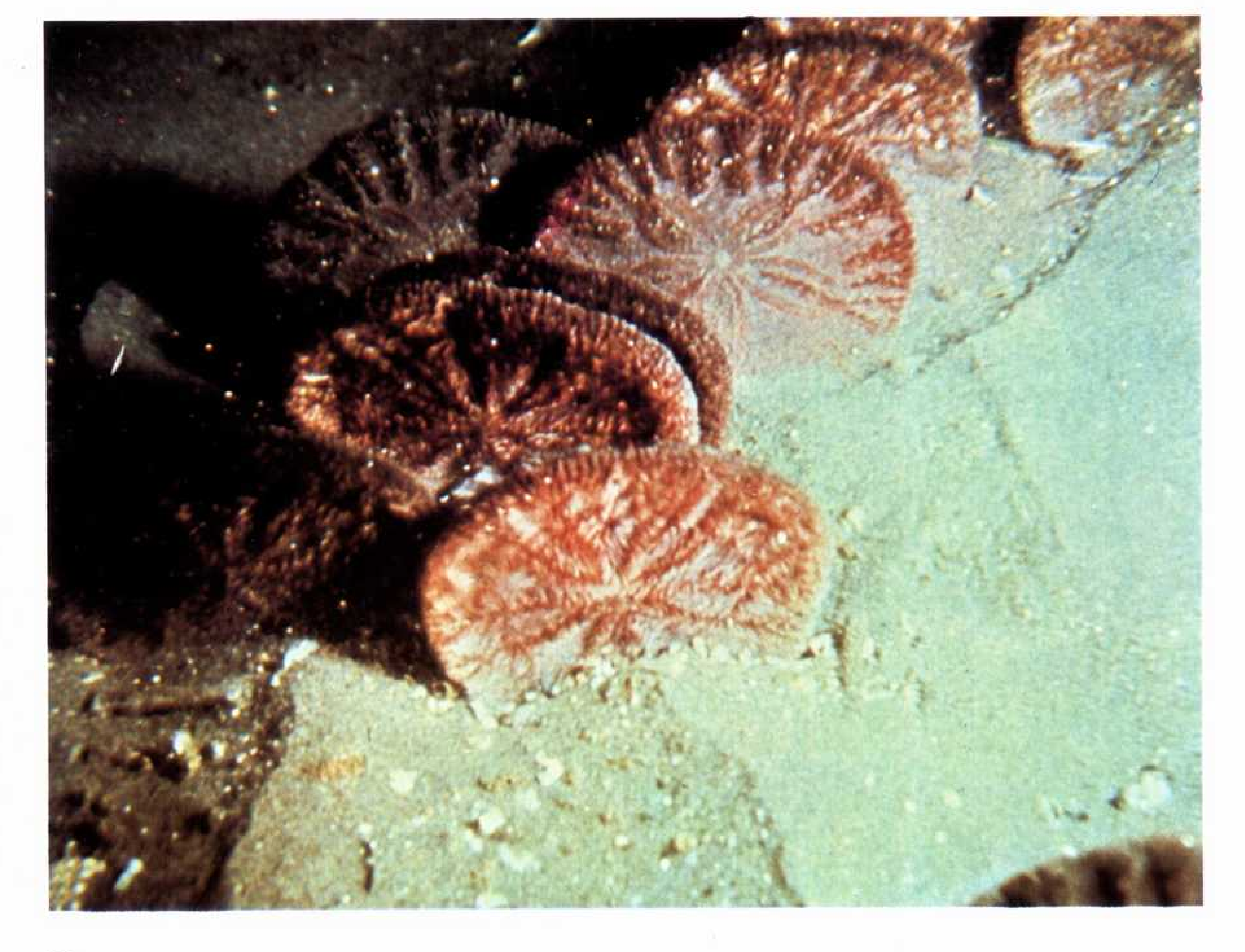
Hay que evocar, una vez más, a los gusanos. Además de los que excavan el substrato mencionaremos aquí a los que han desarrollado órganos especializados en la recolección de los materiales orgánicos en suspensión. Ciertos anélidos poliquetos sedentarios recogen sobre sus tentáculos empenachados estos fragmentos de alimento. La mayoría de las especies han perfeccionado mecanismos de selección de las partículas según su tamaño: sólo retienen una categoría de estas últimas. Entre los moluscos, los mejor adaptados a la excavación y recolección de los detritos contenidos en los sedimentos pertenecen a la clase de los escafópodos: así ocurre con los colmillos de mar. Estos animales se esconden en la arena y la exploran con ayuda de sus tentáculos. Cuando han detectado algún fragmento comestible, lo atrapan sirviéndose de una especie de botón adhesivo que ostenta en la punta de dichos tentáculos y lo hacen descender hacia la boca accionando unas hileras de cilios vibrátiles.


Los crustáceos, tan variados en sus formas y en sus adaptaciones, no podían dejar de originar especies detritívoras. Además de los carroñeros, con los que cuentan en gran número (bogavantes, cangrejos, etc.), existen también animales excavadores entre ellos. Estos últimos excavan la arena con sus dos apéndices torácicos, la escarban metódicamente con sus apéndices bucales (quijadas, patas maxilares...) y localizan partículas comestibles que llevan a la boca. En el orden de los cumáceos, los dos primeros pares de apéndices torácicos están especializados en la manipulación y cribado de los granos de arena; los fragmentos de alimentos descubiertos son recogidos por las patas maxilares. En los anfípodos, entre los que son numerosas las especies excavadoras, el segundo y tercer par de apéndices son prensiles (se les da el nombre de gnatópodos) y sirven para recoger los detritos comestibles. Los cangrejos violinistas, que habitan las ciénagas y extensiones de fango, recogen su alimento por medio de sus maxilas y maxilípedos: se llevan a la boca pequeños trozos de lodo y sus apéndices bucales, muy ricos en terminaciones sensoriales y motrices, extraen rápidamente la médula.

Muchos otros animales marinos son también detritívoros. Entre los hemicordados podemos citar a los enteropneustos. Estos comprenden especies vermiformes como los balanoglosos, que excavan en la arena largas galerías en U, que abandonan a veces para buscar comida en el substrato. Viven casi únicamente de residuos orgánicos.

Los pogonóforos son también muy sorprendentes. Su cuerpo alargado termina hacia adelante en un manojo de largos tentáculos. Pero no tienen boca ni tubo digestivo... Las micropresas y los residuos orgánicos de los que se alimentan son directamente digeridos por los tentáculos dotados de pequeñas excrecencias parecidas a vellosidades intestinales: las pínnulas. Estos órganos desempeñan la función de un filtro que retiene los fragmentos alimentarios; segregan enzimas que digieren este alimento y absorben los productos de la digestión, que hacen pasar al sistema sanguíneo... ¡Extraordinarios hallazgos de la naturaleza!

***Los dólares de arena.*** *Se trata de equinodermos de la clase de los equinoideos, es decir, de erizos de mar. Pero son erizos irregulares: su cuerpo es aplastado, pareciéndose efectivamente a piezas de moneda. Viven en los fondos de arena, especialmente cerca de las costas norteamericanas. Para alimentarse escarban activamente en el substrato. Las partículas orgánicas y las micropresas quedan prendidas entre sus púas. Luego son «tratadas» por las pequeñas pinzas llamadas pedicelarios, que tapizan la superficie del dermatoesqueleto, y conducidas milímetro a milímetro hasta la boca.*





# Defensa y agresión

# El mimetismo

SE llama generalmente «mimetismo» a la capacidad de ciertas especies para esconderse en el entorno. Pero, según los naturalistas, conviene distinguir varias especies de camuflaje. La homocromía designa la facultad de adoptar el mismo color del medio. Esta homocromía puede ser permanente si la especie mantiene constantemente la misma tonalidad y vive siempre en el mismo decorado (por ejemplo, el rascacio del color de las rocas tapizadas de algas rojas); o puede ser transitoria si el animal tiene la posibilidad de cambiar de color en función de su soporte.

La homotipia concierne a la imitación de las formas. El rascacio no sólo tiene el color de las rocas: su cuerpo espinoso y como abollado le confiere de alguna manera también su morfología. De igual manera ofrece el aspecto de un extraño guijarro posado en el fondo.

El mimetismo en sentido estricto designa el caso en que los animales imitan la forma y el color de otros seres vivos. Pueden copiar a los vegetales, para mejor esconderse entre ellos: tal ocurre con el pez trompeta, cintiforme, parecido a un alga o a una rama de posidonia. O pueden copiar también a los animales: ciertos peces tropicales adoptan el aspecto de fragmentos de briozoos, o de peces de otra especie distinta de la suya, de los que todos los depredadores saben que tienen una carne tóxica.

En general, los animales que viven en fondos de arena tienen tonalidades grisáceas. Ciertas rayas, los lenguados, los rodaballos, etc., se esconden a la perfección a ras del sedimento.

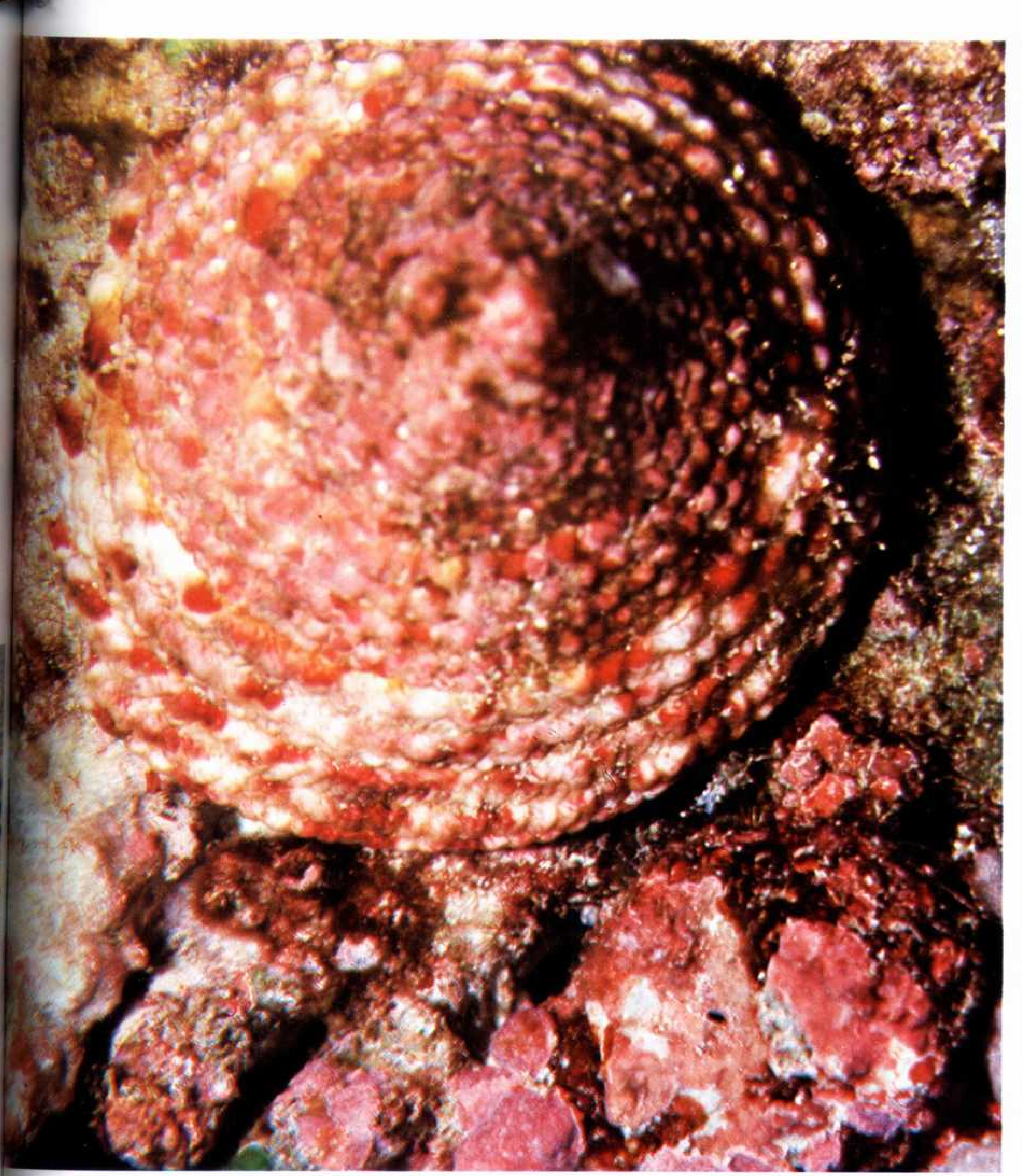
En plena agua las especies pelágicas saben también hurtarse a la vista de los depredadores. Poseen un dorso gris azul oscuro y un vientre blanquecino: coloración que no es fruto de la casualidad; el vientre blanco, visto desde abajo, brilla con la misma luz que la superficie clara del mar. Los animales muy pequeños, bentónicos o pelágicos, adoptan modalidades de camuflaje pasivo comparables a las de los grandes. Los crustáceos que se alojan en la arena o que corren en su superficie, como ciertas gambas, adoptan una tonalidad gris crema. Los que forman parte del plancton resuelven el problema al ser, en su mayoría, prácticamente transparentes.

La eficacia de tales camuflajes ha sido puesta en duda por algunos naturalistas. En efecto, piensan que las coloraciones o las formas imitativas de las presas no engañarían por mucho tiempo a los depredadores, que no sólo utilizan el sentido de la vista para cazar. Este razonamiento, aparentemente lógico, descuida puntos esenciales: primeramente, el depredador va a lo más fácil (ataca al animal más fácilmente detectable) y en segundo lugar, si la protección que proporciona el camuflaje no es absoluta, funciona muy bien, estadísticamente hablando. Se ha estudiado, por ejemplo desde este punto de vista, al caracol de mar *Crepidula convexa;* ciertos individuos de esta especie tienen una concha parda o negruzca, poco visible sobre las rocas de la zona intercotidal donde viven, mientras que otros tienen una concha clara. Los primeros escapan mucho mejor que los otros a los cangrejos y a las aves marinas que los acosan. La presión de la selección juega en favor de los genes «concha oscura». Sin embargo, los genes «concha clara» no desaparecen, pues existen también rocas blanquecinas, menos numerosas que las oscuras o pardas, pero sobre las que los caracoles de concha gris o crema están, por consiguiente, más protegidos que sus congéneres de aspecto tenebroso. La mejor solución consiste evidentemente en poder cambiar de color a voluntad. Desde este punto de vista, los moluscos cefalópodos (pulpos, sepias, calamares) son privilegiados. Sus tegumentos contienen unas células especiales, llamadas cromatóforos, en las que se encuentran pigmentos químicos negros, rojos, pardos o amarillos. Los orgánulos que contienen estos pigmentos les permiten alargarse o, por el contrario, contraerse, por efecto de un mensaje nervioso u hormonal. Si el cefalópodo se encuentra, por ejemplo, encima de una roca tapizada de algas rojas, aparecen sus cromatóforos de pigmentos rojos y adopta una hermosa tonalidad de tomate... La emoción (miedo, excitación amorosa...) basta igualmente para hacer que el animal cambie de color.



***Confundirse con el entorno.*** *Muchos animales se han adaptado al camuflaje: sus formas o sus colores les permiten esconderse en el biotopo natural. Las especies particularmente bien adaptadas se resisten a abandonar el medio en el que desaparecen a los ojos de los demás. Esta doble página presenta cuatro casos de camuflaje: arriba, el pez* Dactyloptera orientalis *sobre un fondo de rocas grises, en el océano Indico; en la página siguiente, a la izquierda, el gasterópodo* Trocha *sobre guijarros cubiertos de algas rojas; en la misma página, a la derecha, la misma especie, sobre otro fondo. Abajo,* Paracirrhites hemisticus *frecuenta los corales cubiertos de algas verdes.*

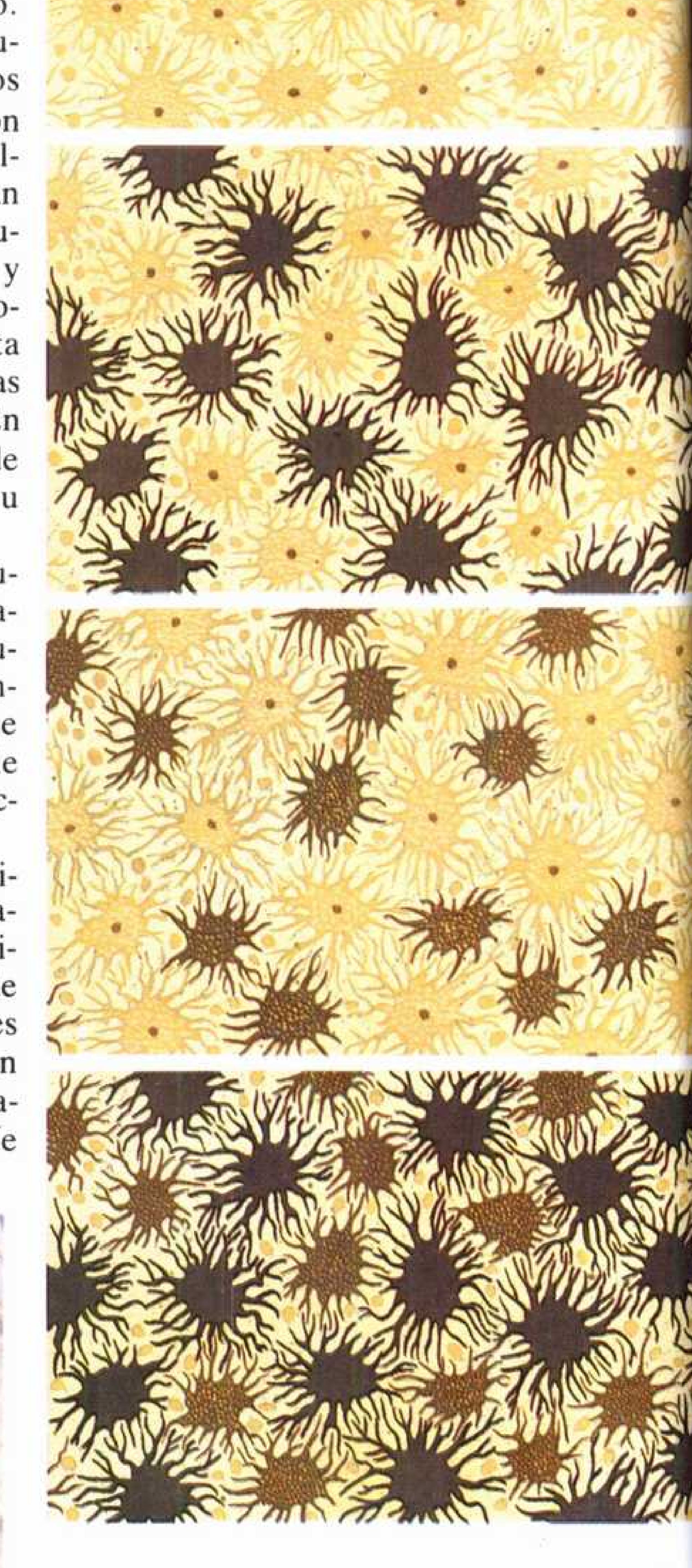


Los calamares, las sepias y los pulpos poseen, por lo demás, una segunda categoría de células destinadas a modificar su coloración: los iridocitos. Estas no contienen pigmentos (coloración química), captan y reflejan la luz ambiente según sus propias modalidades (coloración física), modificando la orientación de las diversas capas reflectantes que los componen.
Las modalidades del camuflaje animal son extraordinariamente variadas. La vida, en este campo, da prueba de una sorprendente capacidad de invención. Muchas especies, por ejemplo, presentan rayados y manchas irregulares que «rompen» su silueta e impiden que los depredadores las descubran a primera vista. Este tipo de coloración se llama «críptica». Se encuentra en peces tales como hemulones y caballas.



Ciertas especies han llevado el arte del disimulo hasta cubrirse de residuos y vegetales marinos, para mejor confundirse con el entorno. Los erizos de mar, por ejemplo, ostentan entre sus púas conchas vacías para disimularse más; algunos desaparecen literalmente bajo los residuos. Existen cangrejos que, conscientemente, arrancan manojos de algas de las rocas con sus pinzas y los pegan a su propio caparazón, hasta adoptar el aspecto de un guijarro erizado de vegetales.
Naturalmente, los animales que más necesitan recurrir al mimetismo son los que cuentan con menos medios de defensa propia. Estos existen en otras especies. Así, los moluscos bivalvos y la mayoría de los gasterópodos (con excepción de las babosas y de los nudibranquios) poseen una sólida concha calcárea capaz de resistir muchas agresiones. Esta concha está compuesta en general de tres capas: un estrato externo donde predomina una proteína córnea (la conquiolina) y dos estratos internos hechos de diversos cristales de carbonatos, sobre todo de carbonato de calcio.
Como todos los demás artrópodos, los crustáceos están provistos de una coraza en la que la quitina es el material básico y que les sirve a un tiempo de protección contra sus enemigos y de esqueleto externo. Este carapacho inextensible debe ser periódicamente sustituido cuando el animal crece y se queda demasiado pequeño.
Entre los crustáceos, los cirrípedos cuentan con una doble protección. Además de sus tegumentos quitinosos, poseen una concha bivalva que les cubre parcialmente y en la que pueden recogerse en caso de peligro. Los géneros más conocidos de este grupo son los percebes y las bellotas de mar, que se encuentran fácilmente en los cascos de las embarcaciones.
En los crustáceos superiores (langostas, bogavantes, cangrejos, etc.), el caparazón quitinoso está reforzado por inclusiones minerales de carbonato de calcio. Esto explica su notable dureza. Naturalmente, pese a esta armadura, los cangrejos y sus parientes perecen con frecuencia de muerte violenta: los pulpos, por ejemplo, los atrapan, los aprietan entre sus brazos y desgarran sus tegumentos empleando para ello su acerado y poderoso pico córneo. El crustáceo estomatópodo *Gonodactylus guerini* ostenta sobre su abdomen una serie de espinas semejantes a las de los erizos de mar. En caso de alerta, se refugia en una grieta de la roca, dejando sólo que sobresalga su mata de agujas.
Muchas criaturas marinas poseen tegumentos reforzados. Los pequeños gusanos nematodos, por ejemplo, están cubiertos de una cutícula estratificada, compuesta de queratina y de colágeno, que permanece flexible y suave, pero que le asegura, no obstante, una buena protección.
Los equinodermos, como su nombre indica, tienen la piel dura y pinchuda (su patronímico viene del griego *ekhinos,* «erizo», y *derma,* «piel»). Están cubiertos de tegumentos reforzados con inclusiones minerales, Algunos poseen, de hecho, un auténtico caparazón, que se llama dermatoesqueleto: tal ocurre con las estrellas de mar y los erizos de mar.





Los tunicados forman parte del *phylum* de los cordados. Su nombre se debe a que están protegidos por una túnica gruesa, de consistencia cartilaginosa, pero muy resistente, cuyo componente principal es un polisacárido (la tunicina). Esta envoltura contiene además espículas de carbonato de calcio. Los tunicados reciben el nombre también de urocordados; los más conocidos son las ascidias y las apendicularias.

***Los cromatóforos.*** *En ciertas especies, los cambios de color se deben a unas células particulares, llamadas cromatóforos. Estos forman una capa en la piel, y comportan pigmentos (negros, pardos, rojos o amarillos): dichos pigmentos están contenidos en unos orgánulos dotados de una gran capacidad de contracción y de extensión. Los esquemas de la página anterior dan una idea de su funcionamiento. Cuando los pigmentos se concentran como puntos en el centro de la célula, ésta es de color claro. Cuando, por influencia de un mensaje nervioso u hormonal, estos mismos pigmentos se extienden a lo ancho en el citoplasma celular, aparece el color. Entre los más extraordinarios «camaleones del mar», se pueden contar a los lenguados, que se esconden en el substrato sobresaliendo sólo los ojos (en la página anterior, abajo). El pez piedra, o sinnáceo* (Synanceia verrucosa), *que se ve arriba, y el rascacio* (Dendroscorpaena cirrhosa), *que se adivina a la derecha, se confunden con el entorno combinando la imitación de los colores (homocromía) y de las formas (homotipia) de este último.*

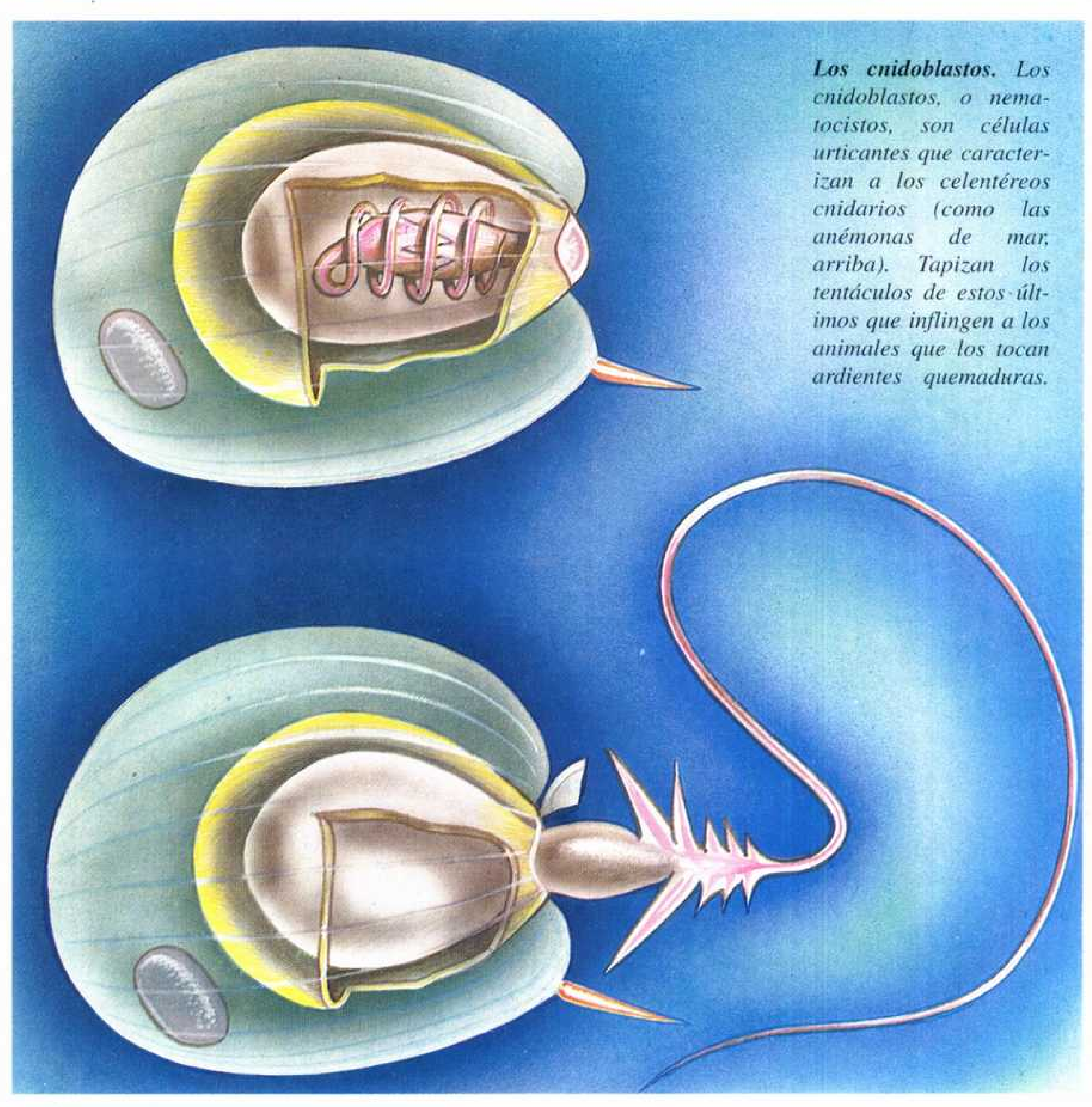


# La defensa pasiva

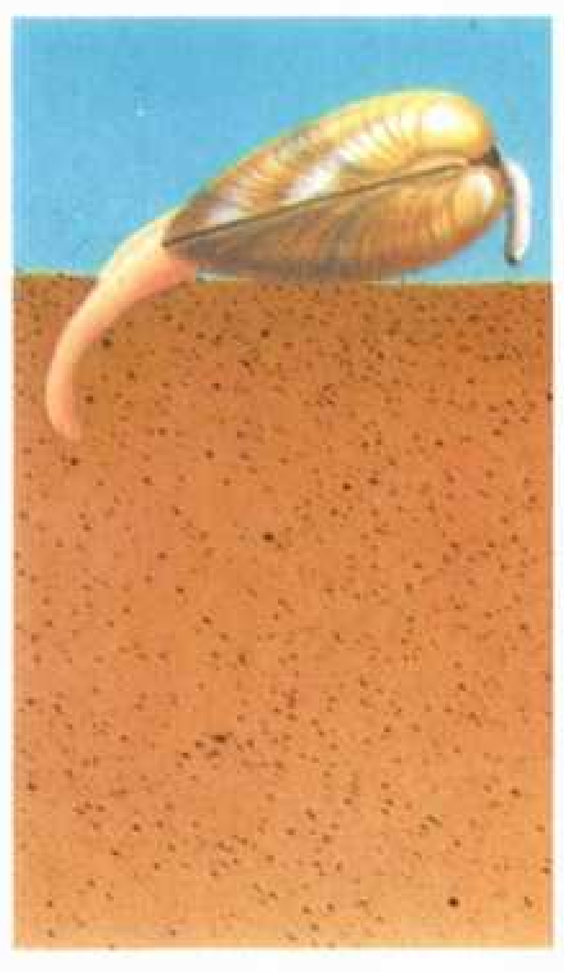
MUCHOS invertebrados se esconden en el substrato de arena o de lodo, y escapan así a la vista de los depredadores que cruzan por encima del fondo. A la vista, pero no forzosamente al olfato, o al sentido eléctrico... No obstante, y a pesar de estos inconvenientes, esconderse representa un buen medio de sobrevivir. Buen número de gusanos y de crustáceos construyen refugios a la medida, segregando un tubo o una envoltura dura, que refuerzan con residuos de todo tipo o granos de arena. Entre los anélidos poliquetos, *Diopatra* se envuelve en una especie de estuche grueso, cuya abertura disimula amontonando piedrecillas, fragmentos de conchas y de algas.

Ciertos crustáceos, protegidos ya por su caparazón quitinoso, mejoran su protección cubriéndose con conchas rotas de moluscos o de fragmentos de vegetales. Así, la gamba *Alpheus pachychirus* tiene por costumbre envolverse en un manto de algas; para cortar los vegetales a su medida se echa de espaldas, y une las piezas de su traje vegetal con filamentos que saca de las mismas algas. Lleva a cabo su sorprendente trabajo de costura sirviéndose de un apéndice especializado a manera de aguja.

El crustáceo anfípodo *Crytophium* escoge cuidadosamente en el fondo del mar su caparazón, en forma de una piedra hueca bajo la que se mete. Cuando advierte un

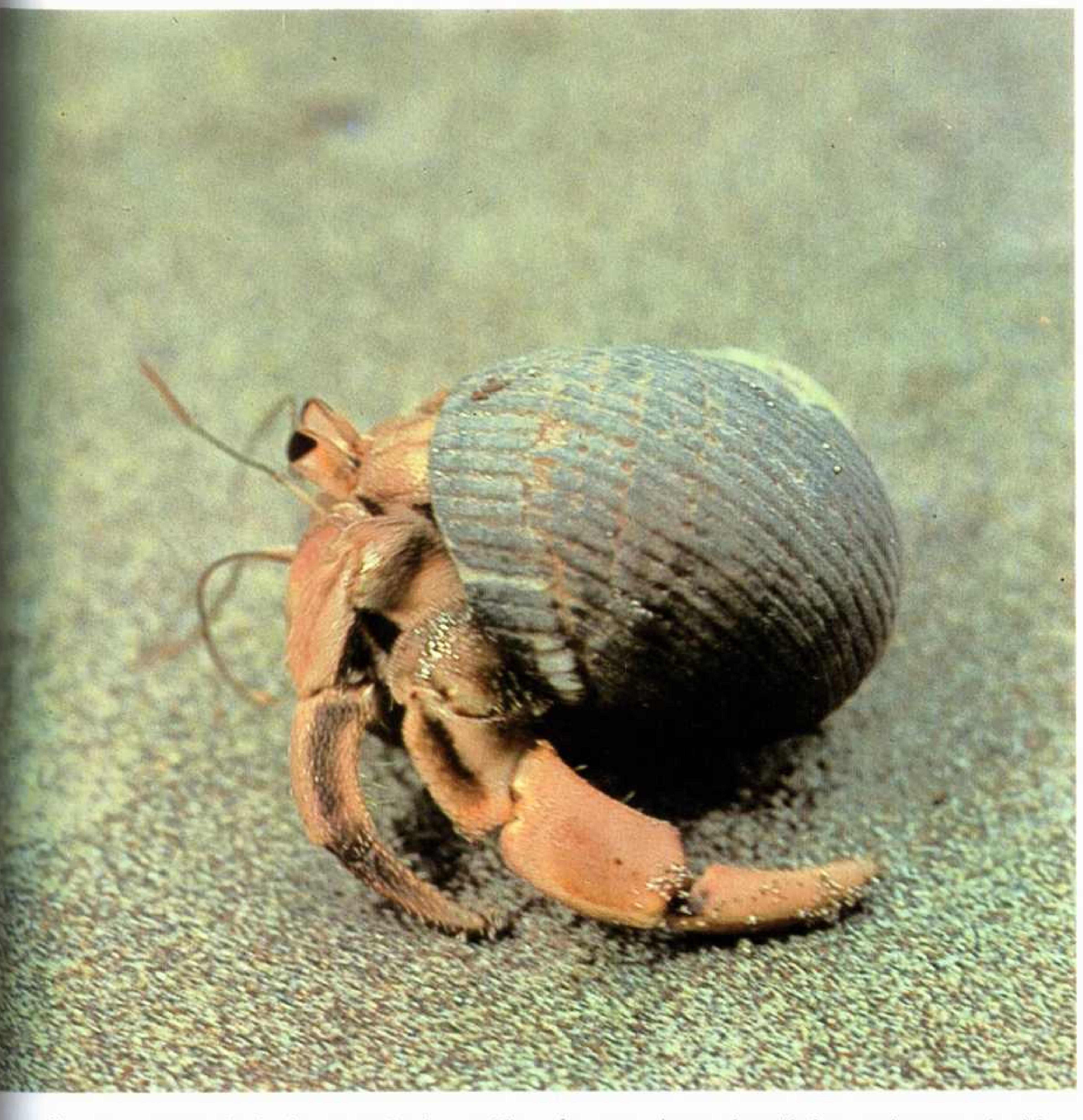


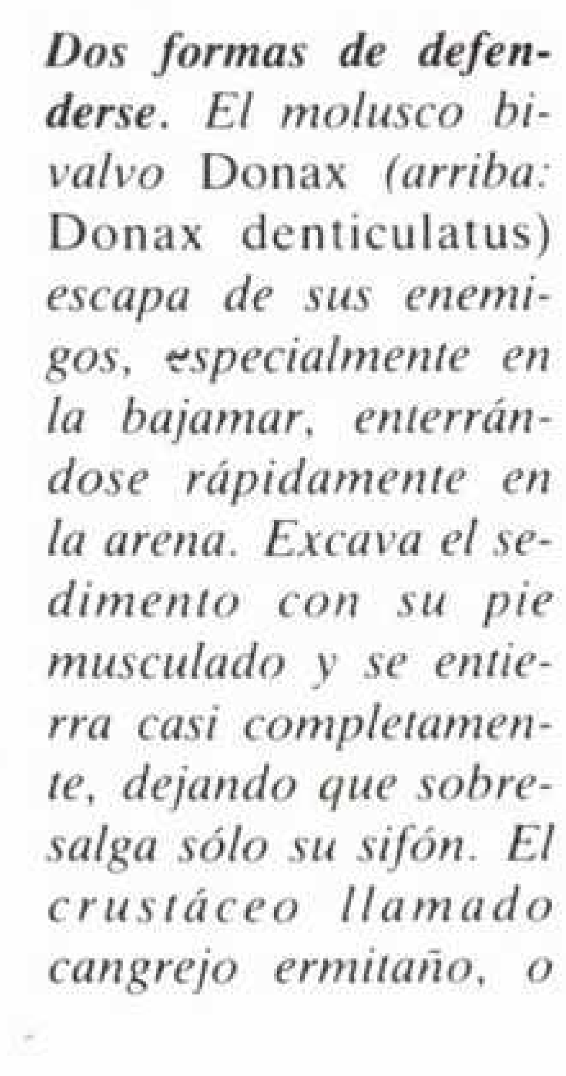
***Los cnidoblastos.*** *Los cnidoblastos, o nematocistos, son células urticantes que caracterizan a los celentéreos cnidarios (como las anémonas de mar, arriba). Tapizan los tentáculos de estos últimos que inflingen a los animales que los tocan ardientes quemaduras.*









***Dos formas de defenderse.*** *El molusco bivalvo* Donax *(arriba:* Donax denticulatus) *escapa de sus enemigos, especialmente en la bajamar, enterrándose rápidamente en la arena. Excava el sedimento con su pie musculado y se entierra casi completamente, dejando que sobresalga sólo su sifón. El crustáceo llamado cangrejo ermitaño, o paguro, ha encontrado otra solución. Para proteger su abdomen blando y vulnerable, se esconde en una concha vacía de molusco gasterópodo, que puede taponar prácticamente doblando sobre sí sus gruesas pinzas. Cada vez que muda al crecer debe cambiar de alojamiento y encontrar en el fondo del mar un «departamento» más grande.*

peligro se esconde bajo su refugio artificial, que es lo suficientemente ligero, sin embargo, como para —una vez que ha pasado el peligro— nadar con su casa a cuestas en busca de sus propias presas. Otros anfípodos, como, por ejemplo, los del género *Siphonoecotes*, viven en conchas vacías de moluscos gasterópodos. Naturalmente, el crustáceo más conocido, por sus sucesivas casas, hechas de conchas abandonadas es el cangrejo ermitaño, o paguro.

La defensa pasiva, no hay que decirlo, mejora notablemente cuando se poseen órganos venenosos. Los celentéreos cnidarios están en este caso. Tienen tentáculos provistos de células urticantes (cnidoblastos, o nematocistos), como hemos dicho anteriormente. Se sirven de ellos para capturar sus propias presas, pero evidentemente también para ahuyentar a los inoportunos. Las medusas y las anémonas de mar están así tranquilas: raros son los animales (aunque los hay) que las atacan. Entre éstos, hay que citar a los moluscos nudibranquios que, no sólo no temen las múltiples púas urticantes de los celentéreos cnidarios, sino que reutilizan los cnidoblastos en provecho propio... ¡integrándolos a sus propios tejidos! Aparte de los nudibranquios, los cnidarios tienen pocos enemigos. Y menos todavía la fisalia *(Physalia)*: los mayores animales del océano (tiburones, cetáceos..., el hombre mismo) la evitan en cuanto pueden.

La defensa pasiva de los nudibranquios es sumamente sutil, puesto que consiste en hurtar las armas a otras especies para protegerse a sí mismos. Entre estos moluscos, son sobre todo los animales de la familia de los eólidos los que se muestran como consumados maestros en este arte.

La defensa pasiva del cangrejo ermitaño tampoco está mal concebida: ya hemos dicho que estos crustáceos se alojan en conchas de moluscos gasterópodos. Pero algunos mejoran el procedimiento utilizando los cnidoblastos de una categoría de celentéreos. Para ello, «autorizan» a una anémona de mar a que se les trepe sobre su concha. La actinia se aferra por los tentáculos al alojamiento calcáreo que el paguro ha elegido; separa el pie del soporte que tenía; luego trepa con el mismo pie a la casa a que ha sido invitada, y recobra su posición normal. A partir de entonces, forma equipo con el crustáceo. Le defiende contra los inoportunos agitando su penacho de tentáculos urticantes. Aprovecha los residuos de la comida del paguro, que la pasea constantemente por el fondo. El cangrejo ermitaño del género *Eupagurus* establece así una alianza con las anémonas de mar del género *Calliactis* o del género *Adamsia*.

# La defensa activa

GRACIAS a su coloración mimética, a sus estructuras protectoras y a su capacidad para ocultarse en el substrato o en cualquier grieta de la roca, buen número de animales marinos cuentan con armas suficientes para escapar a los depredadores. Pero en las filas de las diversas especies que componen la cadena alimentaria se ha producido una especie de escalada: cuanto más protegidas están las presas, más órganos de los sentidos y de caza eficaces adquieren los depredadores (por vía de selección natural). El resultado de estas interacciones evolutivas es que todos los sistemas de defensa y de ataque están hoy día sumamente sofisticados.

Los pequeños invertebrados que viven en el fondo en las inmediaciones de las costas tienen como principales enemigos a las grandes estrellas de mar, los grandes moluscos gasterópodos, los grandes crustáceos (cangrejos, etc.), los peces y las aves marinas. Como todos estos depredadores han desarrollado herramientas de detección y de agresión muy eficaces para sobrevivir, los invertebrados han tenido que inventar mil formas diferentes de resistir.

La defensa activa es un buen medio con que cuenta la presa para aumentar sus posibilidades de supervivencia. La cual sólo es posible si la propia víctima potencial dispone de órganos de los sentidos suficientemente confiables y precisos como para prevenir a tiempo la llegada del depredador. Ciertos animales, incluso primitivos, detectan cambios en la luminosidad ambiente, ondas de presión provocadas por el cazador, etc. Reaccionan rápidamente a estos estímulos, para los que están condicionados (para los que, incluso, están programados genéticamente), movilizando su aparato de defensa. Aun cuando la mayoría de los invertebrados no ven ni las formas ni los colores, y advierten solamente los movimientos, y aunque sus sentidos de la presión no están tan perfeccionados como la línea lateral de los peces, logran responder a las amenazas.

En ciertos casos, el invertebrado sólo reacciona cuando el depredador le toca (con sus patas, tentáculos, dientes, etc.). Su sentido táctil está entonces bien desarrollado. Ocurre también que los sentidos puestos a contribución son el gusto y el olfato, es decir, los receptores químicos. Una concentración sumamente débil (del orden de algunas partes por millón) de una sustancia olorosa emitida por un depredador basta para hacer huir o replegarse en su concha a buen número de invertebrados. En los animales inferiores, los órganos del gusto y del olfato están situados, según las distintas especies, en las más diversas partes del cuerpo: antenas,





anténulas, tentáculos, patas, branquias. Cada presa potencial combina los diferentes mensajes que recibe de sus sentidos para adoptar la conducta apropiada. Sin embargo, al no tener los invertebrados frecuentemente sino un cerebro rudimentario (a excepción de los cefalópodos), estas informaciones son tratadas directamente por la cadena nerviosa central. Con mucha frecuencia, existe un sentido que predomina sobre los demás. En la mayoría de los moluscos gasterópodos y bivalvos del bentos que temen a la estrella de mar, el sentido principal es el del gusto —el del contacto químico directo—. Sólo se advierte al estérido cuando toca a su víctima eventual. Esta última reacciona al percibir las moléculas particulares emitidas por el cuerpo de la estrella. El cono *(Conus)*, molusco gasterópodo venenoso, detecta por el contrario a sus agresores a distancia, gracias a su olfato, y puede lanzarles algunos «dardos» emponzoñados... En el caso del cono, por lo demás, podemos preguntarnos si el que tiene más interés en descubrir al otro es el depredador: ¡tan fulminante es el efecto del veneno del gasterópodo!

Los comportamientos de defensa son muy variados. El más común es la huida. Para esta última se recurre en general a un tipo de locomoción diferente del que el animal utiliza usualmente. Así, la vieira, o concha de peregrino, que apenas se mueve sobre el fondo, es capaz de dar saltos para atrás, cerrando bruscamente sus dos valvas, cuando una estrella de mar trata de alcanzarla. Asimismo, las gambas caminantes, las langostas, etc., pueden nadar rápidamente, reculando en caso de peligro.

Ciertos animales, ellos mismos depreda-





***Sofisticados medios de defensa.*** *La estrella de mar* Patiria *caza tanto dólares de la arena (en la página anterior, arriba) como diversas especies de ostras (en la misma página, abajo); para escapar de ella, la víctima tiene que detectar mucho antes las emanaciones químicas del asteroideo; los bivalvos no cuentan con más medios que con sus músculos aductores. Las diferentes especies de conos* (Conus) *envía a sus agresores dardos cargados de veneno sumamente potente, incluso para el hombre (aquí, a la izquierda). El diodón, o pez erizo (arriba), se hincha en presencia de su enemigo.*

dores de criaturas más pequeñas, disponen de armas ofensivas (pinzas, espolones, etc.) que utilizan de modo defensivo cuando se ven amenazados por otros mayores que ellos. Los nemertinos, por ejemplo, tienen una trompa protáctil, de que se sirven para capturar sus pequeñas presas, pero también para alejar (cuando se puede) a sus depredadores. Esta trompa, dura y puntiaguda, constituye un arma eficaz, que su propietario usa como una bayoneta. Siempre entre los gusanos, los anélidos poliquetos dotados de mandíbulas, como *Nepthys* y *Nereis,* se defienden empleando estas armas.

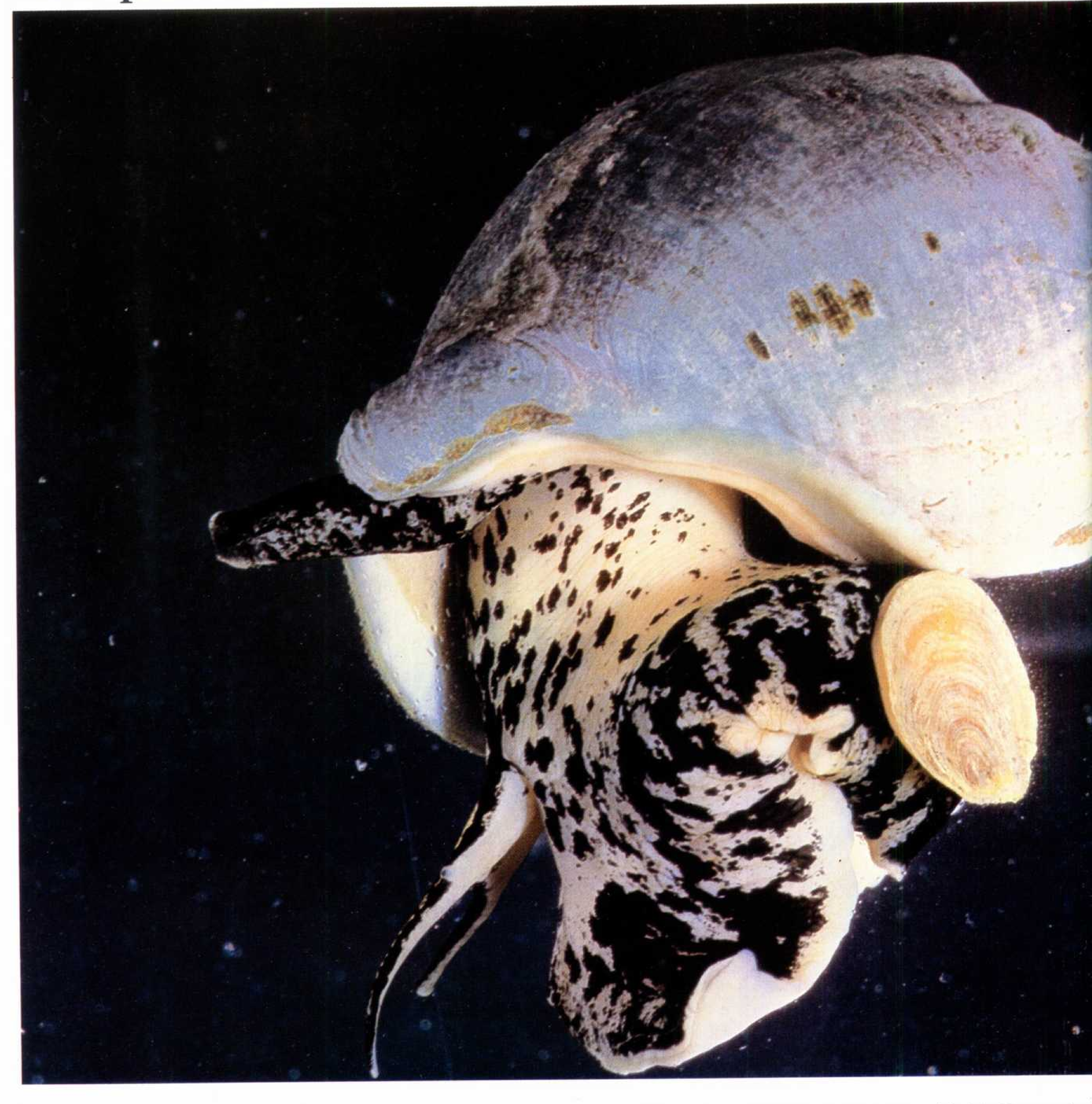
Ya hemos hablado del sentido del olfato de los conos. Más tenemos que hablar de sus armas de defensa activa. Estos pequeños caracoles de los mares tropicales (existe una especie en el Mediterráneo, pero no es peligrosa) poseen una rádula (lengua rasposa), como todos sus parientes. Pero, además, cuentan con dientes faríngeos en forma de dardos, llenos de un veneno extraordinariamente activo (parecido al del curare). Por un sistema de propulsión muscular muy eficaz, pueden lanzar dardos mortales a varios decímetros de distancia. Los dardos se fijan en la piel de los inoportunos; el veneno que inoculan puede matar a un hombre...

Las holoturias (pepinos o cohombros de mar) se defienden de sus agresores eviscerando bruscamente una parte de su tubo digestivo. El depredador, sorprendido por esta masa de órganos que salen de repente, deja a la holoturia el tiempo suficiente para ponerse a buen recaudo. Los tejidos perdidos por el cohombro de mar en esta operación se regeneran rápidamente.

En los moluscos cefalópodos, como se sabe, el señuelo es un chorro de tinta. La sepia forma una nube disuasoria que desorienta a los depredadores.

Sin embargo, uno de los mejores medios de defensa contra los depredadores consiste, para muchas especies, en... proliferar, y vivir en bancos apretados. Los animales que pasan por una fase larvaria planctónica, especialmente, deben engendrar miles y miles de descendientes si quieren tener la posibilidad de ver a un número suficiente llegar a la edad adulta. El molusco gasterópodo *Crepidula convexa* protege sus huevos, y sus larvas no forman parte del plancton: no tiene necesidad de poner, en toda su existencia, sino algunos cientos de huevos. Sus parientes *Crepidula fornicata* y *Crepidula plana,* por el contrario, cuyas larvas son planctónicas, engendran cada año decenas de miles de embriones.

# Huir para sobrevivir



*La salvación, en la huida.* *La bocina* (Buccinum undatum), *que se ve arriba, escapa de su mortal enemigo, la estrella de mar, lanzando hacia adelante su pie musculado, y efectuando así una serie de saltos que alejan al carnívoro. Comportamiento casi semejante se puede observar en la oreja de mar* Haliotis kamtschatkana: *en presencia de un asteroideo, bascula violentamente sobre sí misma (a), levanta su concha (b) y huye lo más rápidamente posible (c). Otros moluscos gasterópodos impresionan a sus enemigos adoptando la posición llamada «de champiñón», levantándose sobre su pie.*

Muchos moluscos gasterópodos marinos han puesto a punto eficaces tácticas de huida. Cuando se presenta un depredador, ejecutan por ejemplo espectaculares cabriolas. Tal ocurre con diversas especies del género *Nassarius:* éstas adelantan y retroceden cada vez más rápidamente su concha con relación a su pie, y este movimiento de zigzag les permite dar saltos que desconciertan a sus agresores.

Estos caracoles poseen, en la parte posterior del pie, receptores químicos que les advierten de la presencia inminente de su peor enemigo, la estrella de mar *Marthasterias*. La respuesta —cabriolas, etc.— no se hace esperar. Acrobacias que el *Nassarius* no ejecuta si se le pone en presencia de otra estrella de mar que no se alimente de gasterópodos, como *Crossaster,* por ejemplo.

El enorme gasterópodo marino *Struthio-*




*laria papulosa,* de Nueva Zelanda, es igualmente un excelente saltarín. Se ha comprobado que en el curso de un encuentro de cuatro minutos con una estrella de mar, uno dio más de cincuenta cabriolas...

La mayoría de las lapas, cuando sienten la presencia de un enemigo, se contentan con pegarse firmemente a la roca: su concha en forma de sombrero chino se adhiere exactamente al emplazamiento que ocupan, y que nunca prácticamente abandonan (salvo durante la noche; pero al amanecer vuelven a posarse exactamente sobre su pequeña anfractuosidad rocosa). Algunas, sin embargo, aumentan sus posibilidades de supervivencia adoptando una posición llamada «de champiñón»: pasan sobre su concha una parte del manto y se levantan sobre su pie, lo que les confiere un aspecto característico de hongo; pero, sobre todo, esta postura tiene la ventaja de aumentar la distancia que separa los pedicelarios de la estrella de mar de su propia masa visceral. Así procede la lapa *Diodora aspera.* La *Acmea,* pariente suya, adopta la posición citada y luego, si puede, trata de huir arrastrándose sobre su pie.

La *Calliostoma* hace el «champiñón» y luego ejecuta cabriolas. Los estrombos, moluscos gasterópodos, tienen un miedo cerval a los conos, que pertenecen a su misma clase. En cuanto detectan uno a distancia (por quimiorrecepción), ponen pies en polvorosa.

Tienen un medio de locomoción muy curioso: estiran su pie, pero asegurando el equilibrio gracias a una pieza opercular córnea, que clavan en el substrato. Cuando el pie está totalmente extendido, hacen bascular la concha hacia adelante, liberan luego su punto de anclaje, y así sucesivamente.

Cuando se sienten amenazados, se mueven tres veces más rápido que de ordinario, y su avance tiene algo de verdaderamente extraño.

El gasterópodo *Tegula fundebralis,* que se desplaza un poco de la misma forma, no teme a los conos, sino a las estrellas de mar.

Adaptaciones a la huida rápida se dan igualmente entre los moluscos bivalvos, que a primera vista parecen totalmente incapaces de moverse con cierta eficacia. Las conchas de peregrino *(Chlamys, Pecten)* escapan saltando cuando sienten posarse sobre ellas el brazo de una estrella de mar o el tentáculo de un gasterópodo depredador, como la bocina *(Buccinum).* La vieira, por lo demás, detecta probablemente también a sus enemigos merced a los múltiples ojos azules que ostenta en el reborde externo de su manto. Estos órganos visuales no le permiten ciertamente formarse una imagen precisa de sus agresores; pero bastan para revelarle una sombra amenazante... Entonces, la concha de peregrino abre sus dos valvas para que entre el agua, y las cierra bruscamente contrayendo sus poderosos músculos aductores. El agua, expulsada a gran velocidad, propulsa al animal en sentido inverso, por reacción. El bivalvo consigue de este modo efectuar saltos de más de 50 centímetros hacia arriba y atrás, logrando escapar casi siempre a su agresor.

Otros bivalvos son capaces de efectuar movimientos muy rápidos, e incluso de saltar, cuando descubren un enemigo. Así, los cardiums, que viven normalmente en el substrato arenoso, dan pequeños saltos de una decena de centímetros.

Los calamares, sepias y pulpos, que poseen notables órganos de los sentidos (tentáculos y ojos perfeccionados), así como un sistema nervioso altamente integrado, huyen ellos también nadando por reacción en caso de urgencia. Expulsan el agua de su cavidad paleal a través de su embudo, y el impulso originado los propulsa hacia atrás. El agresor (pez carnívoro, etc.) puede quedar sorprendido por lo repentino de la maniobra, tanto más cuanto que el cefalópodo no deja nunca de lanzar simultáneamente un chorro de tinta.

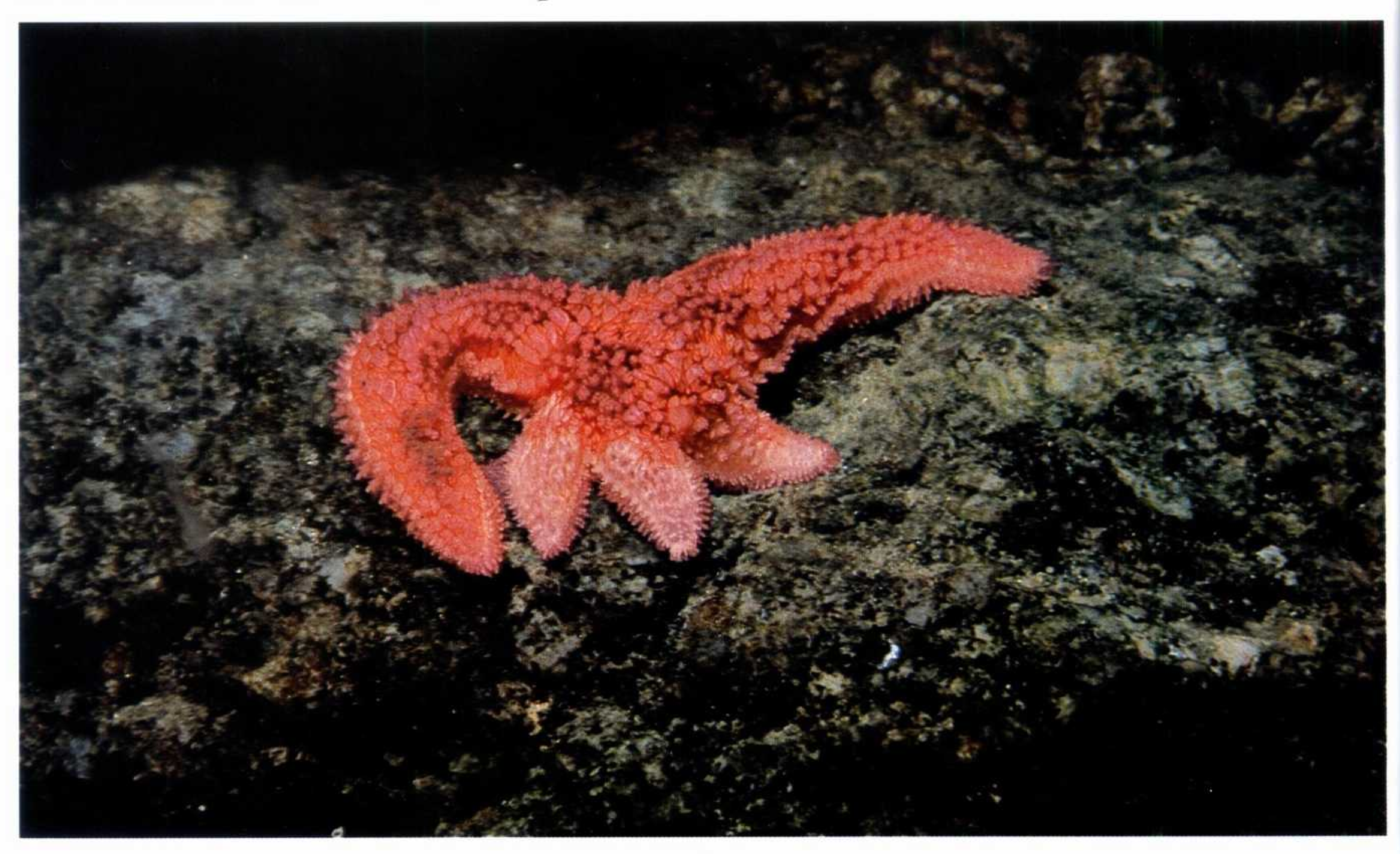
También muchos crustáceos han desarrollado eficaces mecanismos de huida. Para ello utilizan la parte más móvil y musculosa de su cuerpo: su abdomen. Replegándolo bruscamente hacia adelante, se mueven en dirección contraria, y nadan así por sacudidas, con gran eficacia, reculando. Así actúan numerosas gambas, y en especial las langostas. Los crustáceos copépodos planctónicos no son capaces de evolucionar con tanta rapidez, pero poseen artejos alargados en remos, que les permiten unos buenos rendimientos al nadar.

El reflejo de huida ante el peligro es casi universal. Sólo los seres fijos, por definición, no recurren a esta táctica. Y aun así podríamos decir que, al encogerse sobre sí mismos, contrayendo sus tentáculos, al meterse en su concha o en el tubo que han segregado, están huyendo, poniéndose fuera del alcance del depredador. Los anélidos poliquetos sedentarios (espirógrafos, sérpulas, etc.) se esconden prontamente en su tubo tras doblar su penacho de tentáculos.

Las anémonas de mar retraen sus brazos, y esconden el conjunto del cuerpo en lo que podría llamarse su soporte (hay una especie incluso, *Stomphia coccinea,* que huye realmente abandonando su soporte y alejándose nadando).

Los cohombros de mar, por su parte, como ya hemos dicho, evisceran su estómago para engañar al adversario cuando las cosas marchan mal.

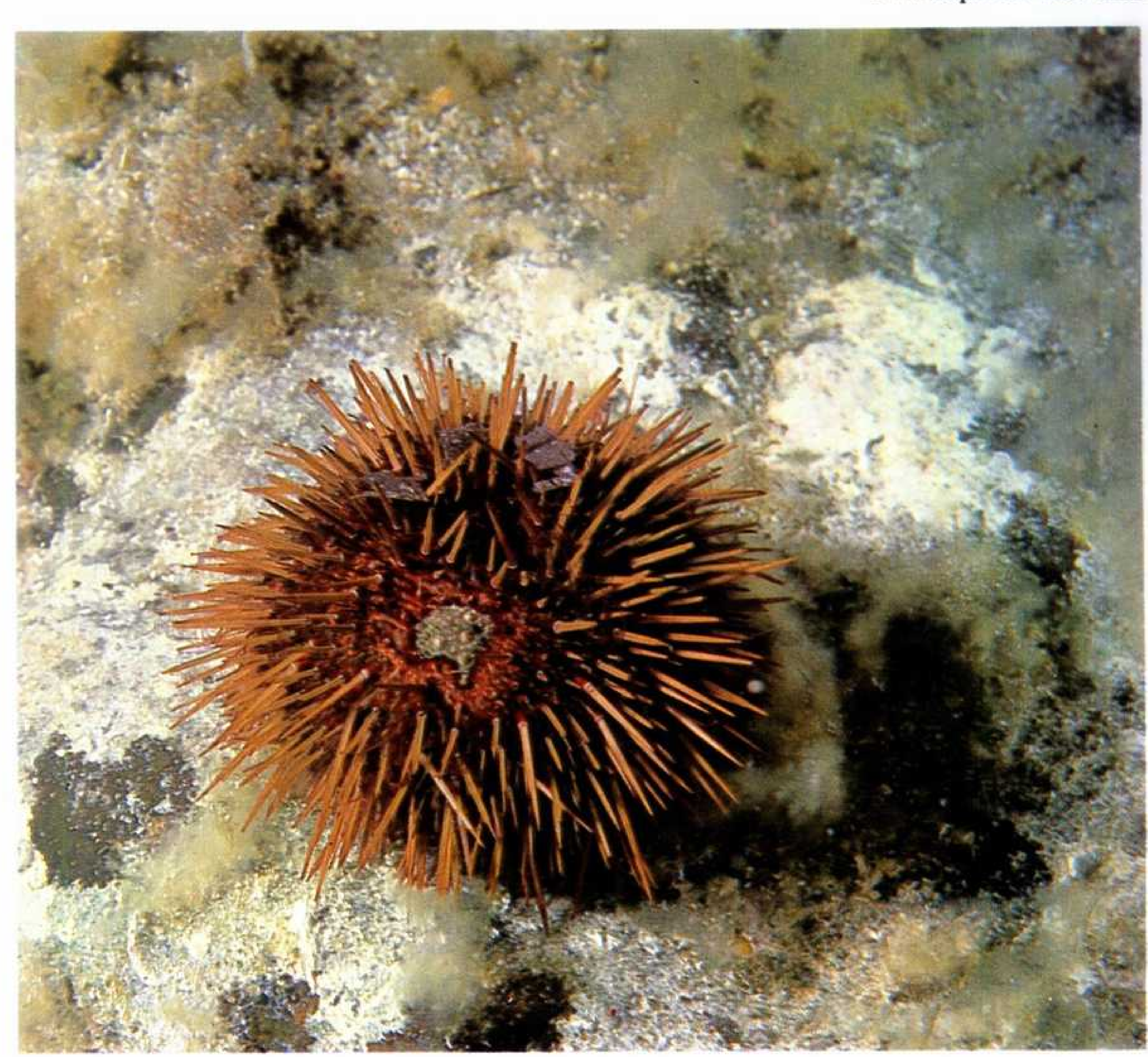
# Defensas de todo tipo



*La regeneración.* Muchos animales tienen la facultad de autoamputarse un miembro cuando se ven amenazados por un depredador: al dejarle una fracción no vital de su cuerpo, salvan lo esencial. Esta propiedad de autotomía va a la par con la capacidad de regenerar la parte que falta. La estrella de mar de arriba ha perdido tres de sus cinco brazos: pero le están creciendo ya... Sin embargo, la regeneración toma su tiempo. La autotomía no se puede convertir en una estrategia de defensa diaria. Está reservada a situaciones casi desesperadas.

Muchos invertebrados marinos sésiles o sedentarios reaccionan en cuanto una sombra los sobrevuela: están condicionados para inmovilizarse y plegarse sobre sí mismos, en la eventualidad del ataque de un depredador.
La mayoría de los moluscos bivalvos, sin poseer auténticos ojos como las vieiras, se muestran, sin embargo, sensibles a las variaciones de la luz ambiente. El paso de una sombra por encima de ellos determina inmediatamente la contracción de sus músculos aductores, y el cierre de las dos valvas de la concha.
Los crustáceos cirrípedos (bellotas de mar, percebes), que se parecen superficialmente a los moluscos bivalvos en razón de su concha, se repliegan igualmente en esta última a la menor señal de alerta. Los anélidos poliquetos sedentarios, como las sérpulas, disponen de órganos fotorreceptores en sus tentáculos.
Como los depredadores son arrogantes y poderosos, no siempre se dejan engañar por el camuflaje, la defensa activa o la huida. En ciertos casos, insisten, y las presas no tienen más remedio que sacrificar por lo menos una parte de ellas mismas para salvar lo esencial. La evolución ha ratificado de alguna manera esta táctica extrema en un gran número de especies: la mutilación espontánea, o autotomía, permite sorprender al carnívoro abandonándole un trozo de carne no vital, que se separa fácilmente del cuerpo y que, en general, es regenerado nuevamente.
En los gusanos anélidos errantes, como *Nereis,* la automutilación es, por así decir, obligada. Se lleva a cabo casi al azar, pues el anélido puede regenerar cualquier parte dando lugar a otro individuo entero. Si un pez, por ejemplo, se come al animal y sólo deja la cola, de este fragmento se formará otro *Nereis* completo.
La autotomía se da igualmente en ciertos moluscos gasterópodos, como *Harpa ventricosa,* que abandona a sus depredadores una parte de su pie, que amputa siguiendo una línea predeterminada. Ciertos moluscos bivalvos, como *Solen marginatus,* cuando son atacados por un pez, se autoamputan el sifón, que se regenerará; se asiste así a una cosa tan disparatada como el que por lo menos una especie de peces viva... ¡de sifones de *Solen!*
Entre las autotomías más espectaculares podemos citar la de las holoturias, que abandonan al depredador una parte de su tubo digestivo. Entre los crustáceos son numerosos los que sacrifican sin vacilar una pinza o una pata: muchos cangrejos lo hacen; tanto más, cuanto que el apéndice amputado no tarda en crecer nuevamente. Sin embargo, el tiempo que tarda a veces es bastante largo, y la autotomía es un arma de la que no pueden servirse todos los días. Un animal que acaba de amputarse un apéndice para sobrevivir, debe estar vigilante si no quiere encontrarse otra vez en la misma situación.
Un cierto número de moluscos gasterópodos o cefalópodos se protegen contra los depredadores segregando un mucus de olor o gusto desagradable con que untan su cuerpo: así hace *Lobiger serrifalci.* Las babosas de mar *Doridacea* segregan una sustancia ácida que disuade a los depredadores más hambrientos. *Cassis varicosa* emite por la trompa una saliva altamente tóxica, cuyos efectos se parecen a los de los venenos neurotóxicos de las cobras.
Las holoturias se defienden no sólo eviscerando su estómago. Algunas expulsan por el ano filamentos mucilaginosos, llamados «túbulos de Cuvier», que se enredan alrededor de los inoportunos, neutralizándolos cuando son de pequeño tamaño, o los hacen huir si son más grandes. En el tiempo que el agresor tarda en desembarazarse de estos lazos, el cohombro

de mar puede ponerse en lugar seguro. El molusco gigante bivalvo tridacna, llamado también taclobo, y al que falsamente se le acusa de poder atrapar la pierna de un buceador, es en realidad más bien lento en sus movimientos. Cuando le amenaza un enemigo (un gran pez, por ejemplo), no siempre tiene tiempo de cerrar herméticamente sus dos valvas: lanza entonces, por su sifón, un chorro de agua potente sobre el agresor: éste retrocede, y la tridacna acaba de cerrarse.



***Las púas y los pedicelarios.*** *Los erizos de mar (en esta página) pueden contar con varios medios de defensa: tienen un caparazón calcáreo resistente sobre el que se erigen numerosas agujas. Entre estas aceradas agujas, poseen también pies ambulacrales, especie de pequeños brazos que terminan en una ventosa que les permiten desplazarse (aunque muy lentamente). Y disponen también de decenas de curiosos órganos en forma de pequeñas pinzas: los pedicelarios. Estos últimos están dotados de un sistema venenoso, y sirven tanto para disuadir de su ataque a los depredadores como para paralizar a las micropresas que constituyen el alimento del erizo de mar.*

dermatoesqueleto

pedicelario

ampolla de veneno

púas, pies ambulacrales y pedicelarios

brazo de estrella de mar

# El comportamiento agresivo

Los animales no son agresivos inútilmente. Atacan cuando tienen hambre o se sienten amenazados (por ejemplo, si un rival viola los límites de su territorio). Infinitamente raros son los individuos que, por razones patológicas, desarrollan comportamientos de agresión incesante. Tales locuras mortíferas se observan entre los tiburones o las barracudas excitados por la sangre, que acaban por morder todo lo que se les pone por delante. Pero tales frenesíes, repitámoslo una vez más, son excepcionales. La mayor parte de las veces, el tiburón o la barracuda giran prolongadamente alrededor de la presa antes de atacar. Cuando son rechazados, pierden todo impulso de matar.

El comportamiento agresivo de los animales para con sus presas es una cosa; y otra, el que tienen para con sus congéneres, con los que entran en competencia por un/a compañero/a sexual, por un territorio o un refugio. En este tipo de agresiones, raramente los contendientes llegan a un enfrentamiento real. Los combates se mantienen, las más de las veces, en algo puramente simbólico, ritual. Las heridas son escasas, por lo menos en plena naturaleza (el combate degenera más frecuentemente en el acuario, en un espacio limitado). Los animales adoptan actitudes características de desafío o de cólera, llevan a cabo gestos cuyo significado entiende perfectamente el rival («¡Fuera! ¡Como insistas, acabo contigo!», etc.). El conflicto dura a veces apenas unos segundos: uno de los dos combatientes, impresionado, emprende la huida.

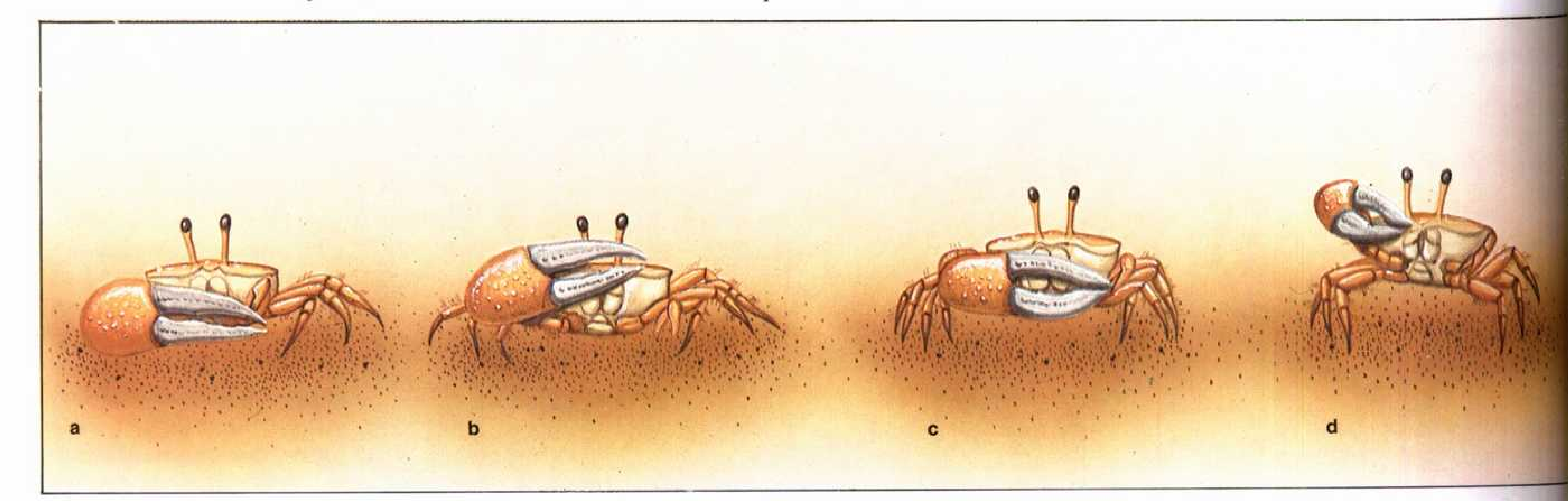
Las ventajas del combate ritual sobre el combate real son múltiples para la especie: tiene todas las del enfrentamiento (el mejor de ambos machos, por ejemplo, transmite su patrimonio genético), pero evita los inconvenientes (heridas y debilitamiento del vencedor). El vencido sigue vivo y en plena posesión de sus facultades, dispuesto a sustituir al más fuerte si éste sucumbe a un depredador.



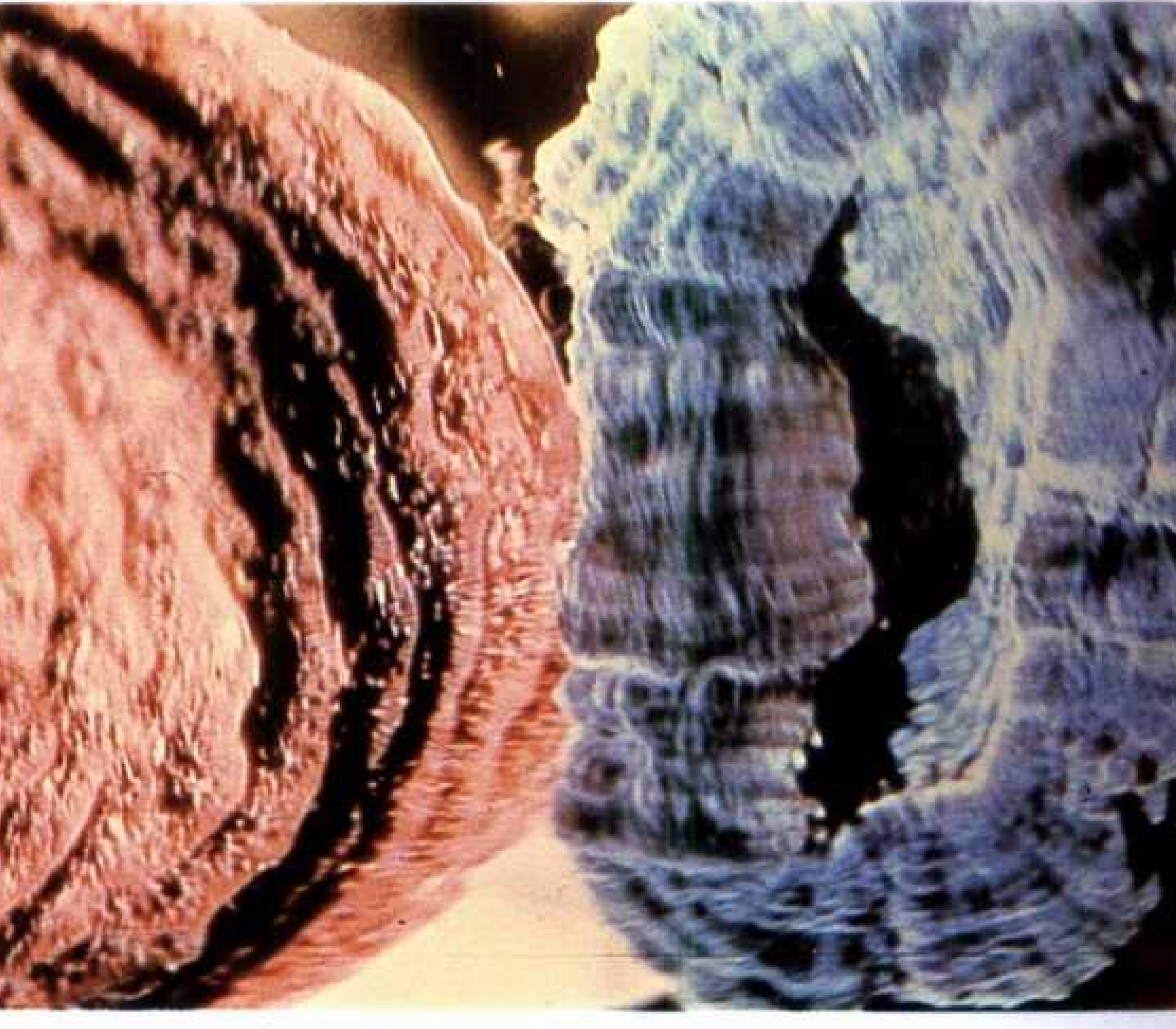
Los etólogos (especialistas en el comportamiento animal) registran pocos casos en que, en condiciones naturales, las luchas intraespecíficas van más allá de los enfrentamientos simbólicos. Naturalmente, la ritualización no afecta a los animales más simples (esponjas, celentéreos), en los que el sistema nervioso está poco desarrollado y que no tienen ninguna percepción del «otro».

Es en el cangrejo violinista *(Uca)* en el que los etólogos han podido estudiar mejor los combates rituales. Este género de crustáceos, propio de la zona intercotidal, excava madrigueras en el fango o en la arena. En la bajamar, salen de su agujero y se ponen a buscar una hembra. Los machos se disputan los escondrijos situados en las áreas más altas, que permanecen más tiempo al descubierto por el reflujo, pues sus posibilidades de seducir a una hembra son directamente proporcionales al tiempo que puedan pasar llamándola con su pinza derecha.

***Las luchas fratricidas.*** *Un gran número de animales adoptan comportamientos agresivos frente a sus congéneres, sobre todo cuando quieren defender el territorio conseguido o cuando hay una competencia sexual. Arriba: un combate de pulpos por la posesión de un refugio; cada uno intenta obstruir el sifón respiratorio del otro. En la página siguiente, arriba: incluso los corales, a un ritmo sumamente lento, se baten para hacerse un lugar a la luz. En general, las especies que disponen de armas defensivas u ofensivas muy eficaces entablan combates de aspecto simbólico. El derrotado adopta una actitud de sumisión que inhibe las veleidades mortíferas de su adversario. Los etólogos han estudiado en detalle los enfrentamientos rituales de los cangrejos violonistas machos, cuando se disputan un escondrijo o una hembra. Abajo se han representado los gestos intimidatorios de la especie* Uca lactea *(a, b, c, d), relativamente discretos, y de sus dos especies próximas parientes,* Uca rhizophorae *(e, f)* y Uca signata *(g, h), que resultan más demostrativos.*



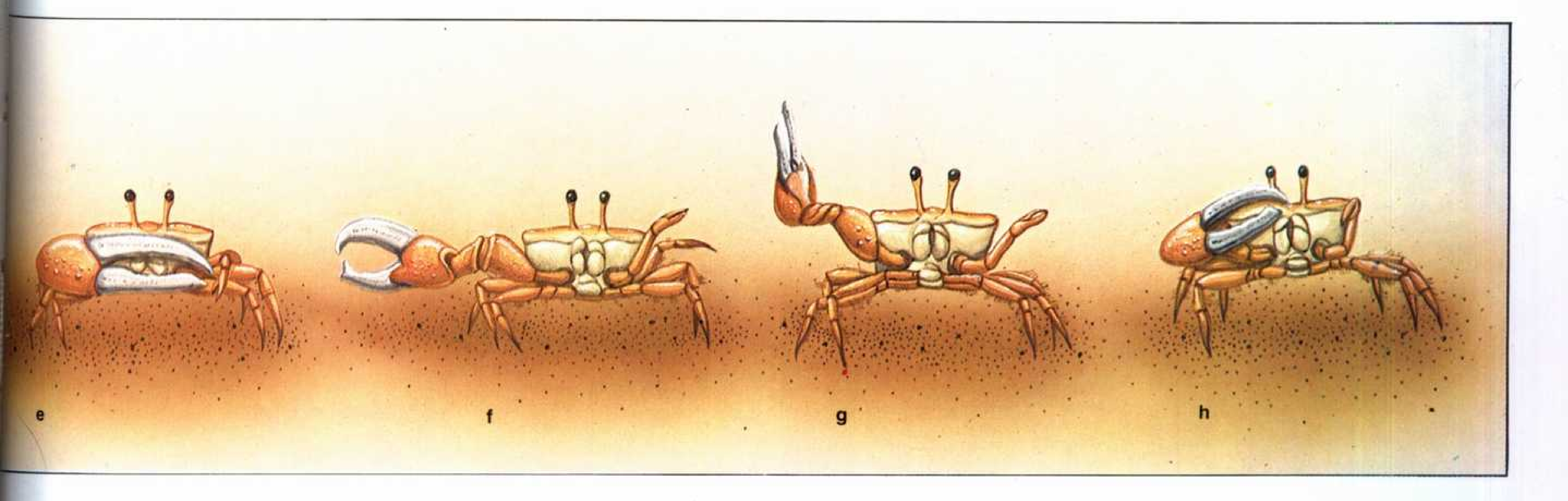




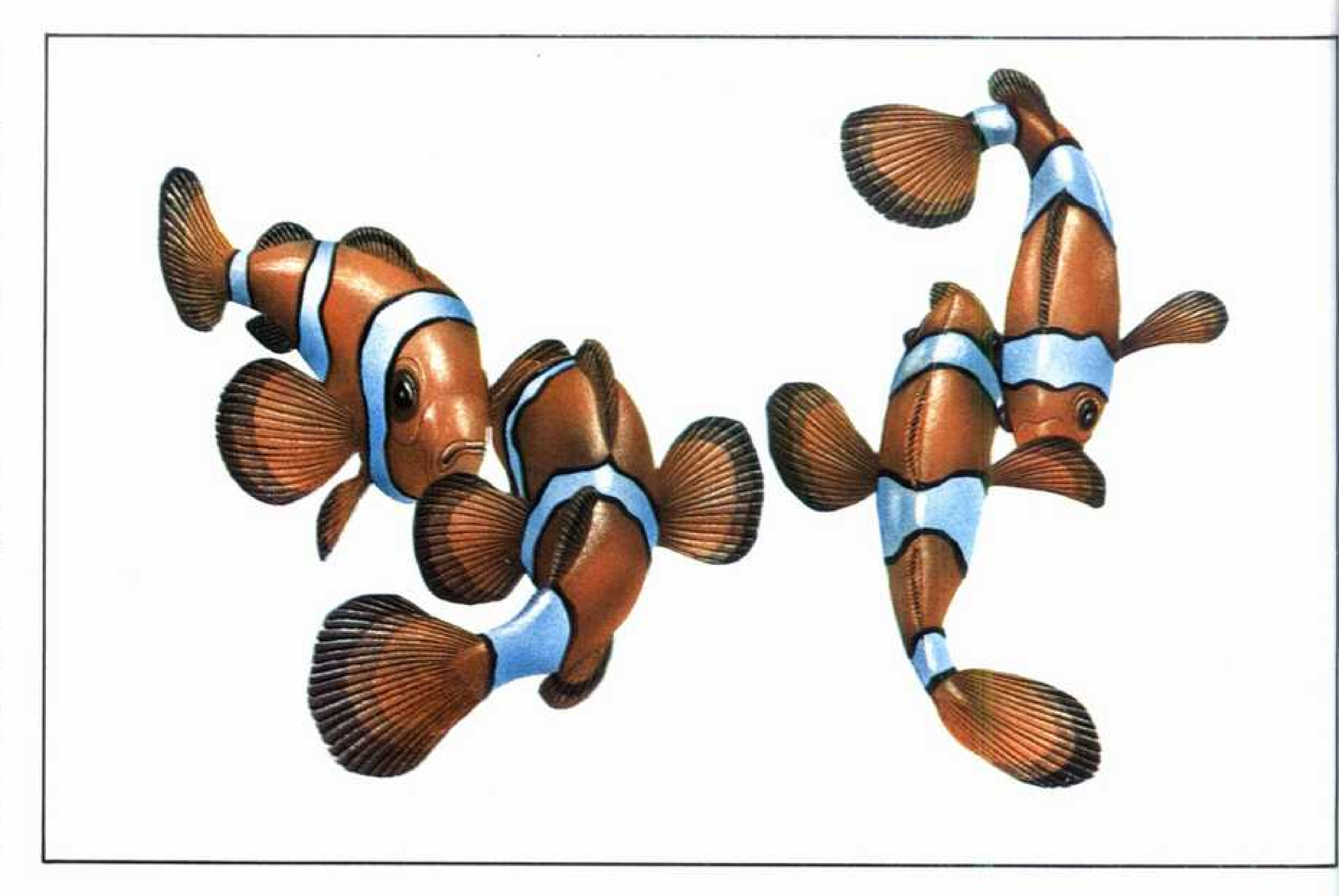


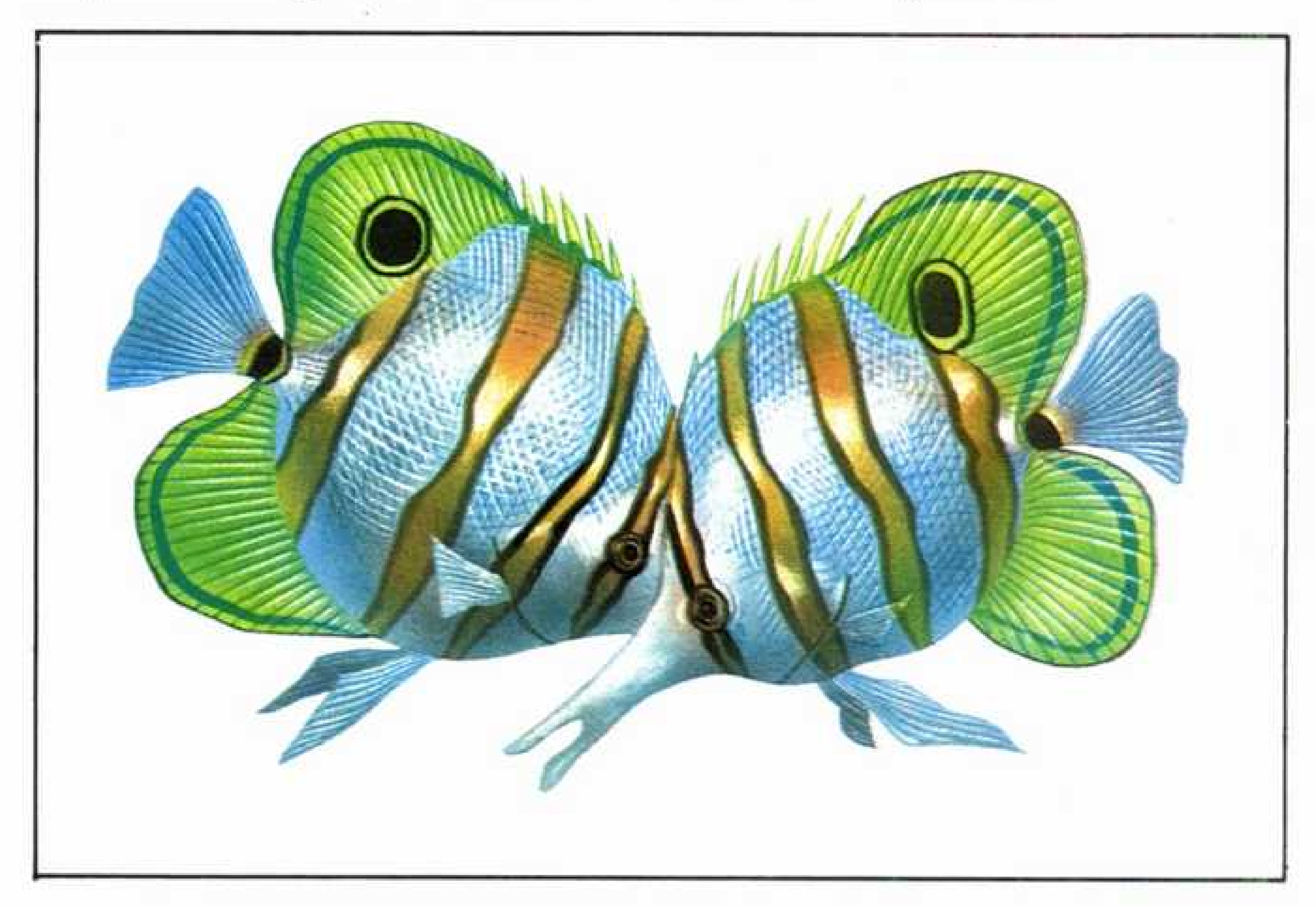
La especie más conocida del género es *Uca rapax*, que vive en las regiones tropicales. El macho que divisa a una hembra no lejos de su madriguera inicia para ella una danza de notable seducción, dando pasitos, haciendo flexiones y señales con la pinza. Sobreviene otro macho: un intruso. El primer pretendiente blande su pinza hipertrofiada varias veces levantándola en alto. El otro responde con la misma amenaza. En general, al cabo de tres a ocho segundos de intimidación recíproca, y sin que los cangrejos se hayan tocado para nada, uno de los dos emprende la retirada, vencido. La mayor parte de las veces, el vencedor es el ocupante legítimo del lugar. El hecho de poseer un territorio confiere a los animales una especie de «ventaja moral» (esta observación vale para la mayoría de las especies). Muy raramente se siente el intruso lo bastante fuerte como para dominar. Si insiste, puede darse el combate real. El vencedor es entonces el que, aferrando el caparazón del contrario con su pinza hipertrofiada, logra volcarlo de espalda.

Los combates rituales se producen a menudo entre los cangrejos ermitaños, cuando dos sujetos, demasiado apretados en la concha del gasterópodo que han elegido, se disputan la misma nueva casa, más grande. Resulta tan vital para el paguro disponer de otro alojamiento, que inevitablemente se entabla el combate. Pero es simbólico: los cangrejos ermitaños se golpean mutuamente sobre la concha con


una pinza. Aparentemente, el que pega más fuerte es el que gana, y puede apropiarse el nuevo departamento. Los paguros realizan así una serie de movimientos complejos con sus apéndices que son perfectamente comprendidos por su contrincante. Por ejemplo, en estos animales, una señal de gran cólera consiste en levantar todo el cuerpo del suelo extendiendo completamente las patas.
En otros crustáceos, la posición del cuerpo reviste igualmente una gran importancia en el curso de los enfrentamientos rituales. Como es de esperar, cuanto más eleva el animal su caparazón sobre la arena, mayor aspecto impresionante adquiere (está más encolerizado, más determinado a vencer), y más sale victorioso, en efecto. Así lucha *Helice crassa,* al levantarse lo más que puede. *Leptodius floridanus* y *Hexapanopus angustifrons* erigen sus «espolones» y agitan sus gruesas pinzas.
Las gambas bentónicas del orden de los estomatópodos, como *Gonodactylus* (y más en particular *Gonodactylus oerstedii),* tienen un territorio individual que defienden ardorosamente. Se esconden generalmente en la arena, dejando que sobresalgan sólo del substrato sus antenas y sus pinzas. Pero si se presenta un intruso de su propia especie, salen del escondrijo y le hacen frente con las antenas levantadas. Entre ellas, sin duda, la señal de la derrota y la de la sumisión es bajar las antenas hacia el suelo. En una especie próxima, *Gonodactylus bredini,* se han observado combates reales en acuario; pero parece que este comportamiento extremo se origina precisamente por la cautividad, por la imposibilidad para la gamba vencida de escapar.
No todos los combates rituales, sin embargo, se desarrollan a base de posturas y de gestos. En ciertos casos, las «armas» consisten en producir sonidos. Entre los crustáceos, por ejemplo, la gamba *Alpheus heterochelis* ejecuta un número de castañeteos muy elocuente con sus pinzas: cuanto más fuerte es la música, más grandes en general son las pinzas; razón por la cual las que golpetean más fuerte son declaradas vencedoras. Si se inmovilizan las dos mandíbulas de las pinzas de una gamba *Alpheus* y se la devuelve a su medio, se convierte en la última de las últimas.
También los cangrejos violinistas producen sonidos, una especie de estridor que resulta de un seco frotamiento de las dos extremidades de su gruesa pinza entre sí.
Los comportamientos agresivos intraespecíficos, si sólo raramente se dan entre los gusanos, se observan, no obstante, en ciertos anélidos poliquetos errantes, como *Nereis caudata* o *Nereis pelagica.* Estas dos especies se refugian en las grietas de las rocas. Se ha comprobado en acuario que, cuando un *Nereis* se aproxima a la hendidura donde otro está escondido, este último se planta a la entrada de su escondrijo en una actitud amenazante bastante clara. Si el intruso insiste, puede salir mordido. En ciertos casos, la lucha degenera, y ambos adversarios se infligen mutuamente mordiscos a trompazos. Sin embargo, hasta este combate conserva aspectos simbólicos, pues los contrincantes avanzan y retroceden como en una especie de danza, y nunca se hieren de gravedad.
Naturalmente, es en los más inteligentes de los invertebrados, los cefalópodos, en los que los combates rituales se hacen más complejos. En estos animales, las posturas y los «gestos» que llevan a cabo con los tentáculos tienen mucha importancia, pero las señales se basan sobre todo en la aptitud que tienen de cambiar de color. El pulpo se enrojece literalmente de cólera; cuando está vencido, se pone pálido; y en este animal los enfrentamientos pueden degenerar e incluso ser mortales. Dos pulpos que reivindican el mismo escondrijo (un agujero en la roca, un ánfora, etc.) pueden limitarse a un combate simbólico; pero si son de tamaño más o menos semejante, y si su motivación es igualmente fuerte, llegan «a las manos», y tratan de introducir un tentáculo en el sifón respiratorio del adversario.
En la sepia común *(Sepia officinalis),* el macho, en la época de celo, se reviste de rayas de vivos colores, blancas, pardas y rojas, que son otras tantas advertencias para los demás machos. Cuando se entabla una disputa (simbólica o real), el vencido pierde todos sus colores y se torna lívido.
Los calamares *Loligo opalescens* adoptan también un comportamiento agresivo en la época de la reproducción. Para impresionar a sus rivales, los machos blanden un tentáculo, agitándolo enérgicamente en el agua. Si fracasa la maniobra de intimidación, la cosa puede pasar a mayores. Pero el mejor de los luchadores impone generalmente su ley en cuestión de segundos.





***Los combates de los peces.*** *En numerosos peces se observan comportamientos agresivos intraespecíficos. Raras son las batallas que acaban en muerte de uno de los adversarios. Arriba: dos peces payaso aparentan «abofetearse» con sus aletas pectorales. Aquí, a la izquierda: dos peces mariposa* Chelmon rostratus *luchan frente a frente.*



# Relaciones de simbiosis

# Los diversos tipos de asociaciones

Los miembros de las comunidades naturales están vinculados por sistemas de relaciones en parte cooperativas y en parte competitivas, que les permiten aprovechar al máximo los recursos del medio. Entre estas relaciones, algunas conciernen a animales de la misma especie: se llaman intraespecíficas. Pueden ser egoístas (competición por el espacio, por la comida, por el nido); pero también, en ciertos casos raros, altruistas. Otras relaciones se refieren a animales de especies diferentes: son interespecíficas. Entre éstas, se pueden distinguir las relaciones ocasionales, semipermanentes y permanentes.

Nosotros tendemos a describir tales relaciones, sobre todo si son permanentes, en términos más o menos antropomórficos, casi sentimentales. Desde luego, se trata de relaciones ecológicas presididas por el solo interés evolutivo de las especies. Su ejercicio, en el transcurso de la evolución, intriga grandemente a los naturalistas, quienes, para designarlas, han creado el término de «coevolución».

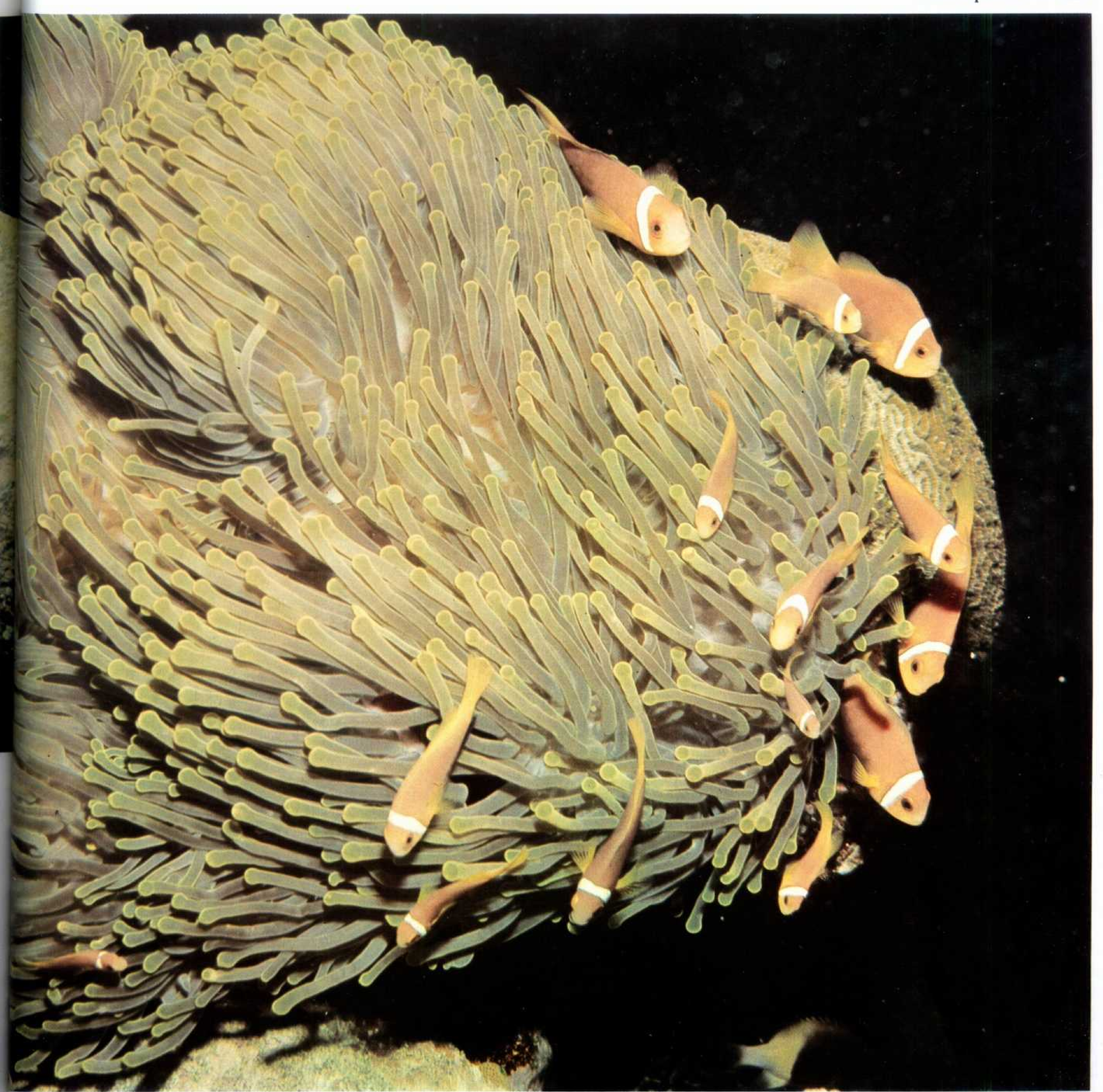
Los fisiólogos prestan gran atención a las hormonas y a las células nerviosas que constituyen la unidad real de los seres pluricelulares. Desde hace unos años, los naturalistas que estudian las asociaciones intraespecíficas e interespecíficas tratan también de descubrir los mediadores químicos que permiten a los animales regular sus relaciones mutuas. En ciertos casos, la asociación es tan íntima que se tiene la impresión de estar ante una especie de superorganismo. Esto se ve muy claro, por ejemplo, cuando se observa el comportamiento de los peces en un banco (suben, bajan, avanzan y dan vuelta en un conjunto tan perfecto que se diría que están unidos por el mismo sistema nervioso).

Las relaciones interespecíficas reciben nombres en los que no siempre están de





***Algunos ejemplos de mutualismo.*** *El mutualismo es una asociación en beneficio recíproco entre dos especies, pero que no tiene el carácter obligatorio y permanente de la simbiosis. En las dos fotografías de esta doble página: la vida en común de los peces payaso, o anfipriones, y las anémonas de mar. Los peces payaso son los únicos animales que no temen el veneno de los cnidoblastos de la actinia; no están inmunizados contra esta ponzoña, sino que se piensa que su piel segrega un mucus que los protege; si están enfermos, y pierden este mucus, mueren por la picadura de su peligrosa compañera. El dibujo de esta página muestra a dos pequeños moluscos gasterópodos ocupados en chupar (con ayuda de sus sifones) las partículas alimentarias en exceso en la cavidad paleal de un gran mejillón.*



acuerdo los científicos. Pero semejantes discusiones semánticas ya no tienen sentido. Aunque estemos lejos todavía de haber estudiado la totalidad de las asociaciones posibles, sabemos ya calificar correctamente las que conocemos.

La más conocida, en efecto, es evidentemente la depredación: una especie caza a otra para comérsela. El parasitismo se aproxima a la depredación: en este tipo de relación, la especie «ladrona» extrae su sustancia de la especie-huésped; esta última puede morir por ello; pero, en general, después de un lapso bastante largo. Sucede así, pues, que el parásito y el huésped pasan simplemente toda la vida juntos...

El comensalismo es una asociación ecológica en la que una especie se aprovecha de la protección o de los restos de comida de otra, de la que más o menos depende, pero a la que no le aporta beneficio alguno. En el mutualismo, por el contrario, ambas especies implicadas se prestan un servicio mutuo.

Pero la asociación más íntima posible entre los animales es la simbiosis. Este término fue creado por Henry Antoine de Bary, profesor de botánica en la Universidad de Estrasburgo, en 1879. Este científico estudió por primera vez los líquenes, que resultan de la asociación estrecha entre un alga y un hongo. De Bary definió la simbiosis como «la vida común y permanente de dos organismos heteroespecíficos, que de ella obtienen un beneficio recíproco». Esta definición es aún aceptada en nuestros días por la mayoría de los biólogos.

# Las algas simbióticas

NUMEROSAS especies de algas, sobre todo unicelulares, viven en simbiosis con otros vegetales o con animales. Las que han «escogido» asociarse con animales marinos han atraído la atención de los oceanógrafos desde hace mucho. Viven esencialmente en comunidad con protozoos, esponjas o celentéreos. El hecho de que se las encuentre asociadas sobre todo con criaturas de los tres escalones inferiores del reino animal, demuestra que las simbiosis se ven fomentadas por un bajo grado de diferenciación tisular y orgánica.

Utilizando experimentalmente gas carbónico «marcado» con una cierta proporción de un isótopo radiactivo del carbono, se ha podido comprobar que en cada caso el animal simbiótico utiliza directamente los productos carbonados (azúcares) elaborados por la planta en el curso de la fotosíntesis. Esta demostración se ha hecho especialmente trabajando con las algas unicelulares simbióticas de la anémona de mar *Anthopleura elegantissima,* así como las del hidroide de agua dulce *Chlorohydra viridissima.* A veces, las sustancias nutritivas no pasan directa-





Los animales, que son heterótrofos, obtienen directa o indirectamente su sustancia de los vegetales, que son autótrofos y están situados abajo en la pirámide alimentaria. Pero los vegetales apenas sacan provecho de los animales, salvo cuando se benefician de los subproductos del metabolismo de éstos (excrementos, etc.). En la simbiosis entre algas y los animales, éstos se nutren parcialmente del cuerpo de los vegetales, y aprovechan el oxígeno que se desprende en el curso de la fotosíntesis; además, las algas se comportan como organismos depuradores, en cuanto que desembarazan inmediatamente a los animales de sus desechos nitrogenados y fosfatados. Las algas, por su parte, sacan ventaja de vivir con los animales por lo menos en dos campos: primeramente, las que viven en simbiosis disponen de todo el abono que necesitan (son precisamente los subproductos del metabolismo de los animales); en segundo lugar, están protegidas por los tejidos de sus huéspedes, o pueden multiplicarse aprovechando una especie de «micro-clima» muy favorable.



***Las algas asociadas.*** *Estudiando los líquenes, el profesor Antoine de Bary descubrió en el siglo pasado la existencia de las simbiosis; y creó este término. Los líquenes son, en efecto, el resultado de la estrecha asociación entre un alga y un hongo. En el*



*mar, las algas son la base de la mayoría de las cadenas alimentarias (esta doble página presenta algunas de sus especies). Las zooxantelas, algas pardas unicelulares, viven en los tejidos de los corales constructores de arrecifes. Esta asociación es sumamente importante: condiciona la velocidad de crecimiento y el vigor de los pólipos coralinos. Los celentéreos aprovechan el oxígeno y los azúcares producidos por las algas; éstas, a su vez, se benefician de las sustancias nitrogenadas y de la protección de los corales.*

mente del la planta al animal. Así, los corales, que viven en simbiosis con las algas unicelulares pardas zooxantelas, no cuentan con jugos digestivos capaces de digerir las moléculas de celulosa y de almidón. Sin embargo, estos mismos corales extraen de las algas una parte importante de su alimento. Simplemente, deben esperar a que las bacterias empiecen la digestión en vez de ellos.

La simbiosis entre los corales y las zooxantelas es una de las más importantes que existen en el conjunto de los ecosistemas marinos. Resulta tan necesaria para los constructores de arrecifes, que estos edificios dejan de existir en cuanto faltan las algas: por debajo de los 30-40 metros de profundidad, o cuando el agua se enturbia con las partículas en suspensión (especialmente en la desembocadura de los ríos tropicales). Las algas necesitan de la luz, como los corales necesitan de las algas. Privando experimentalmente a los celénteros constructores de sus zooxantelas simbióticas, se ha comprobado que, en efecto, pueden sobrevivir; pero su actividad se reduce entonces en forma considerable, y son totalmente incapaces de depositar el carbonato de calcio necesario para la edificación de un arrecife.

La rapidez con que se deposita el carbonato de calcio que constituye el esqueleto de los políperos está en razón directa con la abundancia de zooxantelas. Estas utilizan para su fotosíntesis el gas carbónico exhalado por los corales, y es de esta forma, probablemente, como más contribuyen a acelerar la liberación de las moléculas de carbonato de calcio.

En la actualidad, los biólogos se plantean toda una serie de apasionantes cuestiones sobre las algas simbióticas. Se preguntan, por ejemplo, si en el origen mismo de las células de las plantas superiores, no habrá habido una asociación de este tipo entre algas azules, o entre algas azules y algas unicelulares más evolucionadas. Penetrando en células primitivas, ciertas bacterias habrían podido también «injertar» en ellas una parte de su material genético. Pero esto no es más que una hipótesis.

# Los sorprendentes animales limpiadores

EXISTEN numerosos tipos de interdependencia entre las especies. El mutualismo designa el caso en que dos animales se benefician de su asociación, pero sin que ésta tenga carácter de permanente y obligatorio, propio de la simbiosis.

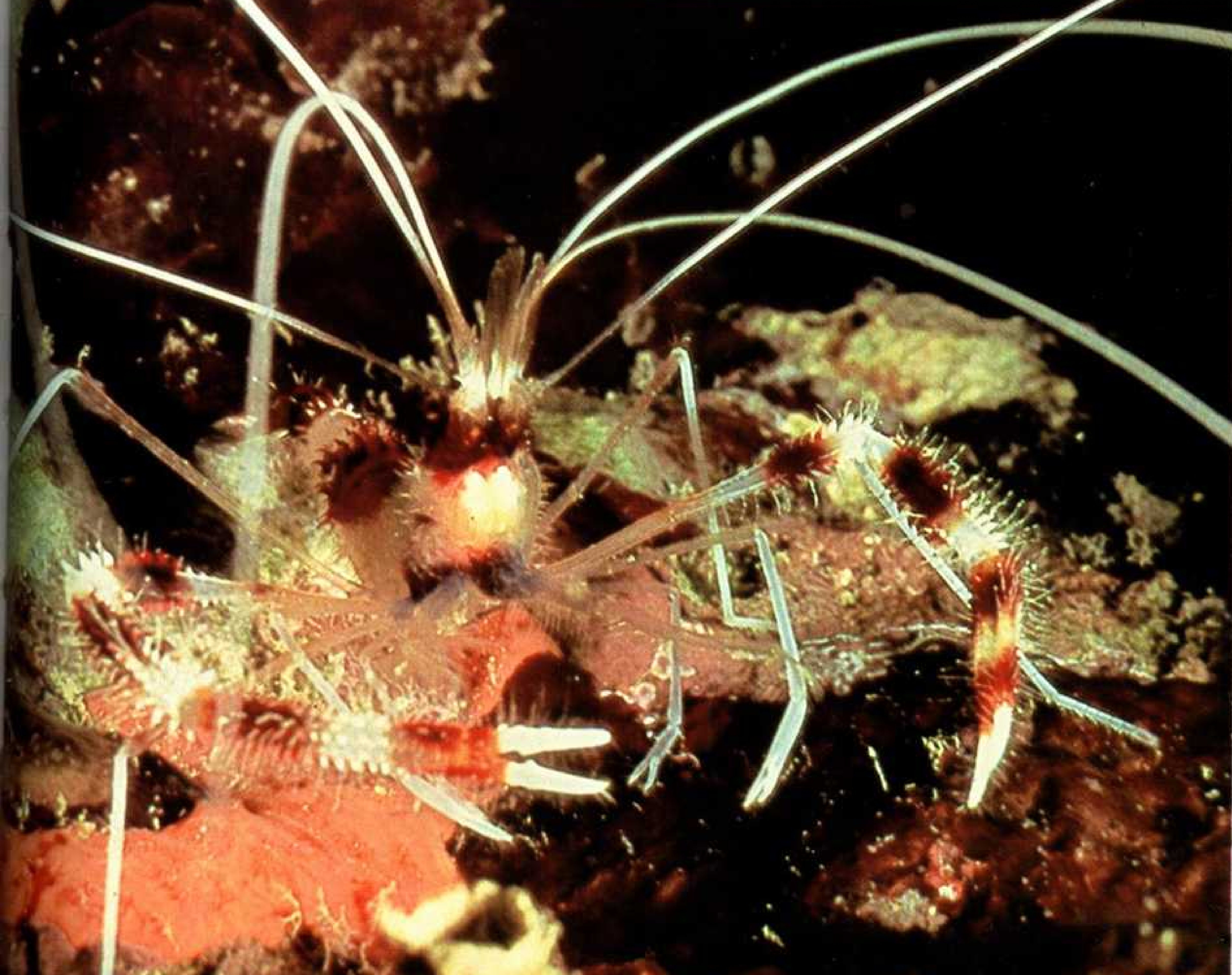
Una de las formas más curiosas de mutualismo es la que vincula a ciertos animales con sus limpiadores. Estos son en general pequeños, y están especializados en liberar a otros animales de sus parásitos o de las partículas de alimentos que los ensucian.

De las seis especies de gambas que se conocen, todas menos una viven en aguas tropicales. *Periclimenes pedersoni* vive sola y es sedentaria. Ostenta vivos colores rojos y violáceos, y está dotada de largas antenas con las que llama la atención de los peces que desea «tratar». La gamba limpiadora de los mares templados *Hippolysmata californica*, por el contrario, tiene costumbres muy gregarias: se pasean en grupos de varios cientos de individuos en busca de peces que quieran desparasitarse. Mientras que las gambas tropicales gozan de una total inmunidad (incluso cuando se meten en la boca misma de los peces), la especie de los mares templados tiene que estar siempre en guardia: sucede con frecuencia que los limpiadores más intrépidos acaban en las fauces de los limpiados. Por lo demás, se ha investigado el mecanismo de protección de los limpiadores. Desde luego, no se trata de que criaturas tan primitivas como son los peces «reflexionen» de alguna manera para defenderse. Se puede suponer que el búfalo o el elefante comprenden la utilidad de la garcilla bueyera que los desembaraza de sus insectos. Pero el pez, ciertamente, es incapaz de semejante comprensión por lo que a su gamba limpiadora se refiere; hay que pensar, más bien, que ésta inhibe el impulso depredador de su huésped. Para ello dispone probablemente de mecanismos químicos, especialmente de glándulas secretoras de hormonas externas (feromonas).

En el mar existen auténticas «estaciones de servicio» de limpieza. Los animales que tiene necesidad de recurrir a ellas saben perfectamente dónde se encuentran, y acuden a ellas periódicamente. Cuando llegan, se quedan quietos y aguardan a que la gamba «de servicio» les atienda. El primer reconocimiento mutuo tiene lugar seguramente cuando el crustáceo palpa al pez con sus antenas. Cuando el limpiador empieza a actuar, el huésped permanece inmóvil. Pero ocurre frecuentemente que una gamba se sacia cuando todavía no ha acabado su trabajo: en ese caso es sustituida por una de sus congéneres. Pe-



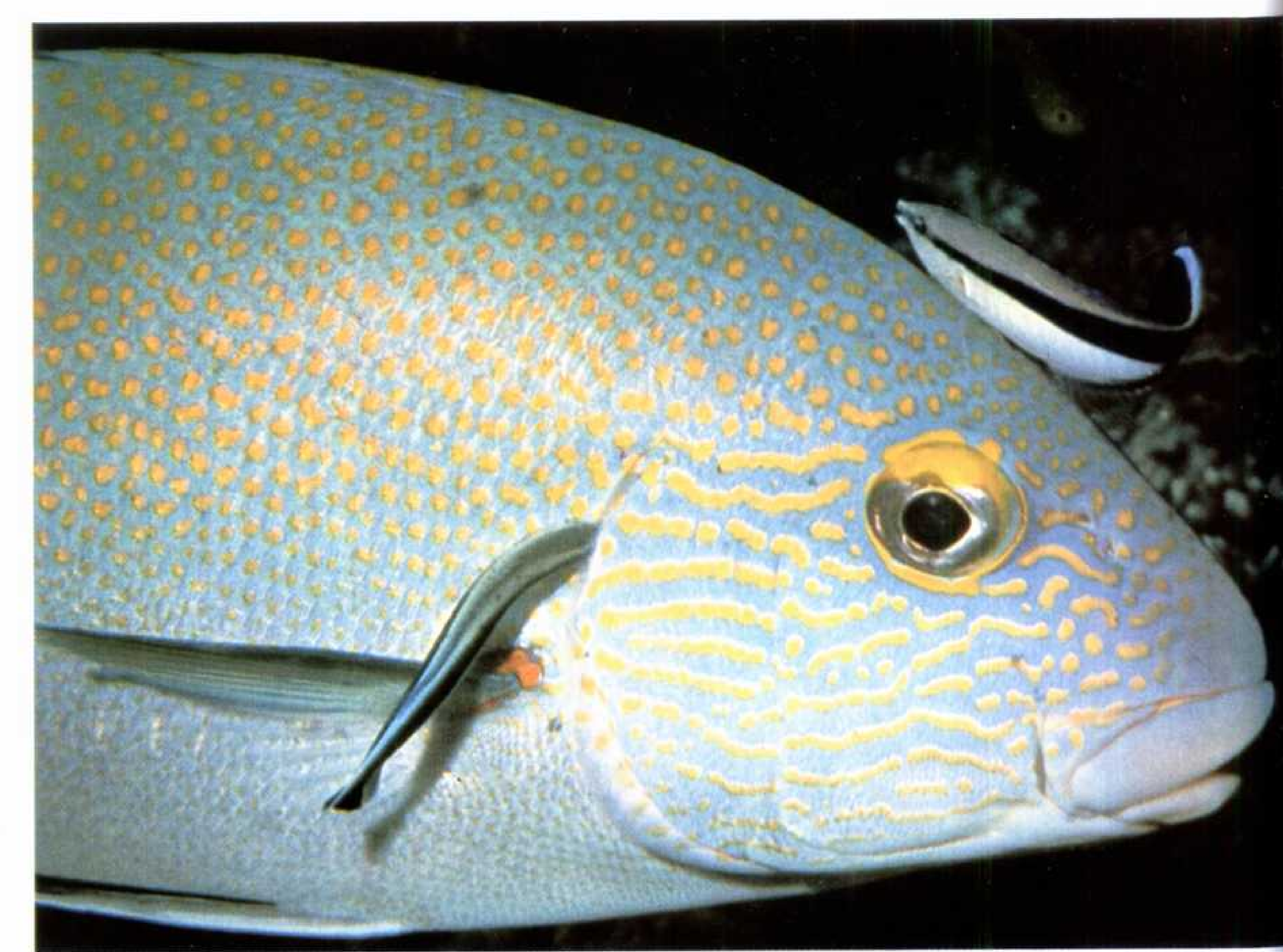
***Las gambas limpiadoras.*** *Existen en el mar animales que buscan su alimento en la superficie misma del cuerpo de otras especies. El gasterópodo* Astraea rugosa *(en la página siguiente, arriba) está en este caso: insinúa su trompa entre las ramas de los corales para encontrar algo que comer. Pero no se puede considerar como un verdadero limpiador. La gamba del coral (en la página siguiente, abajo) merece, en cambio, este calificativo, pues desembaraza sistemáticamente a los pólipos de las partículas que los ensucian y los parásitos que los debilitan. Esta gamba* (Periclimenes pedersoni) *gusta, igualmente, de explorar las branquias de los peces. Aquí, a la izquierda: la gamba en la boca de un mero moteado. En ciertos lugares de los roquedos submarinos y de los arrecifes de coral, se encuentran auténticas estaciones de servicio de limpieza, donde las gambas esperan a sus clientes, y que éstos conocen perfectamente. Algunos acuden desde distancias muy considerables.*

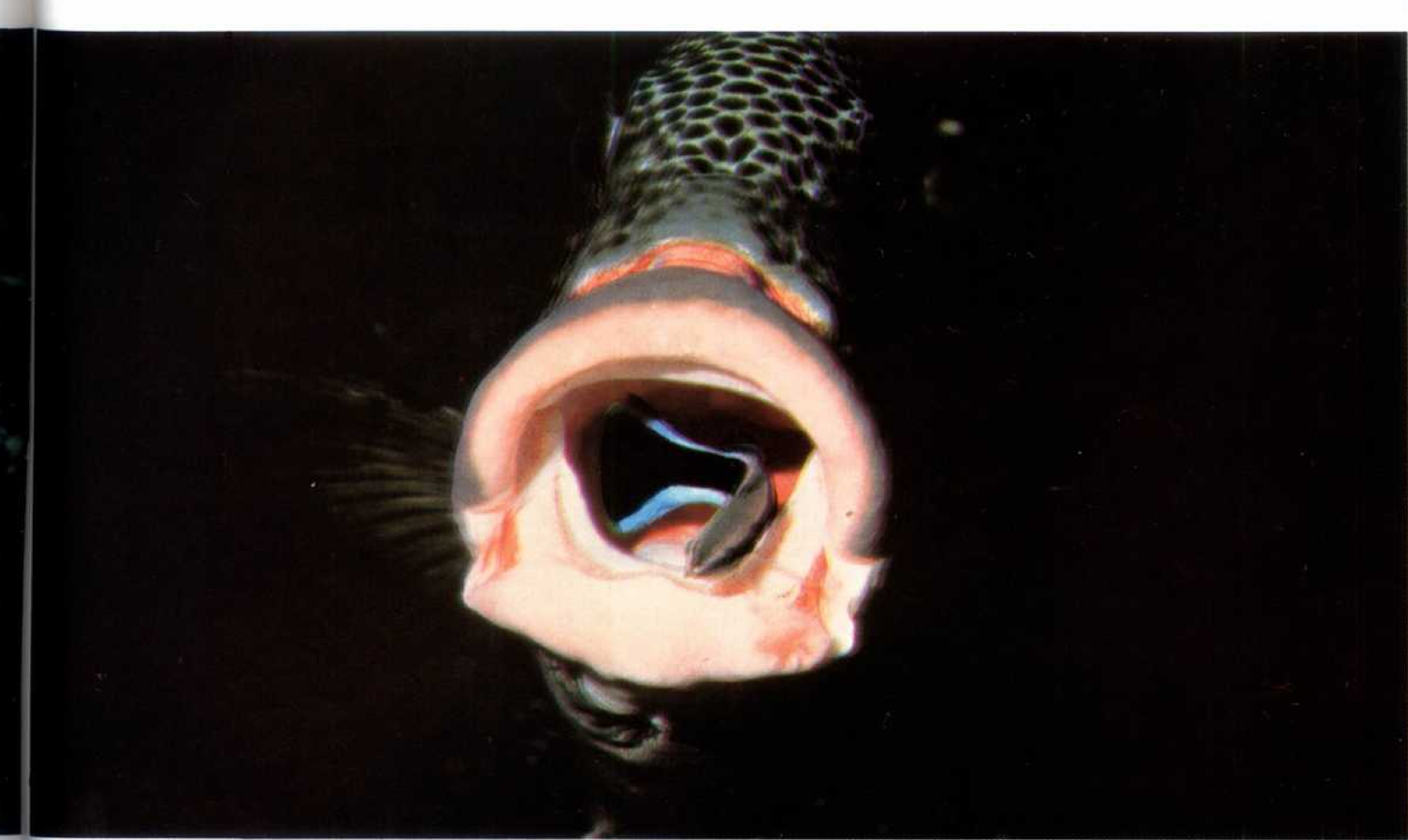


ro ciertas gambas limpiadoras dan prueba de una sorprendente actividad: ¡se las ha visto «tratar» a más de 300 peces en una sola jornada!

Tanto entre los peces como entre las gambas, los limpiadores actúan sobre todo en aguas claras y cálidas de los trópicos. Las especies desparasitadoras del Atlántico abarcan especialmente al pez ángel dorado *(Pomacanthus aureus)*, una especie de pez mariposa del género *Chaetodon*, un góbido del género *Elecatinus* y el pez *Bodianus rufus*. En la zona Indo-Pacífica, los limpiadores más asiduos pertenecen a la familia de los lábridos y al género *Labroides*. Estos peces tienen el morro alargado y una boca pequeña, bien adaptada a su tarea. A veces, varias especies diferentes compiten en una misma «estación de servicio». Se conocen especies que no pertenecen al género *Labroides*, pero que la imitan en su aspecto físico y en sus tonalidades: así, *Elecatinus oceanops* es muy semejante a *Labroides dimidiatus*. No limpian a nadie, pero ha-

cen creer que limpian, escapando así a sus depredadores.
Una vez descritos los primeros comportamientos de limpieza, los naturalistas no cesan de observar nuevos ejemplos. *Labroides dimidiatus* efectúa toda una serie de movimientos particulares para atraer la atención de su «cliente». Le da pequeños golpes con el morro para decidirle a extender las aletas, a levantar los opérculos y a abrir la boca.
Los mensajes entre limpiadores y candidatos a la limpieza no circulan en un solo sentido. Así, el pez cirujano *Naso tapeinosoma* invita a los labros a que se ocupen de él cambiando de color: adopta una tonalidad uniformemente azul.
Los grandes peces que desean ser desembarazados de sus parásitos lo hacen saber a los pequeños también de otras maneras: por ejemplo, se sitúan ante una «estación de servicio» y abren desmesuradamente la boca. El lábrido se pone de inmediato a la faena. Cuando el animal grande decide que ya es suficiente, advierte al «empleado» que debe alejarse. Para ello,





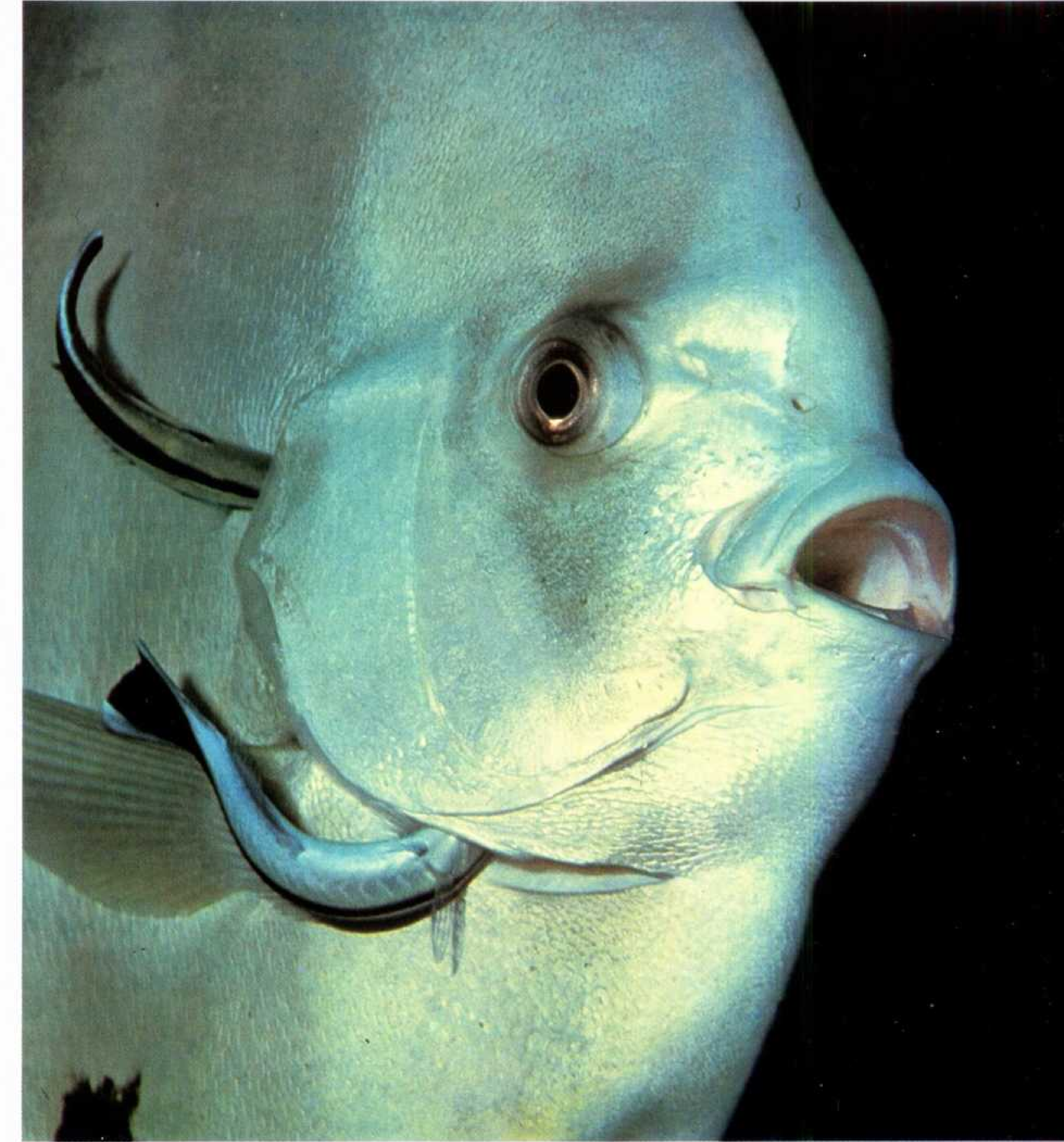
***Los peces limpiadores.*** *Varias especies de peces pequeñitos se han especializado en limpiar a peces más grandes, tortugas, etc. Se las encuentra sobre todo en la familia de los lábridos y en el género* Labroides. *Una de las más activas es* Labroides dimidiatus, *que se ve en acción en esta doble página (en la página anterior, arriba: en un serránido; en la misma página, abajo: con un mero común; aquí, al lado: en la boca de un mero moteado; abajo: entre los opérculos de un pez luna). En muchos de los lábridos se produce un hecho sorprendente: todos los jóvenes son hembras; al envejecer se convierten en machos.*

abre y cierra espasmódicamente la boca varias veces seguidas. El otro entiende perfectamente que ya no tiene nada que hacer.

Un número sorprendentemente grande de peces recurren a los servicios de los lábridos y de sus semejantes. La mayoría de las especies arrecifales están en este caso. Pero recientemente se ha hecho notar que los grandes nadadores de alta mar también acuden a «atenderse» en esas «estaciones de servicio».

Hasta hace poco tiempo todavía, ciertos naturalistas apenas daban importancia a los comportamientos de limpieza. El profesor C. Limbaugh llevó a cabo un experimento que ha convecido definitivamente a sus colegas. Delimitó un trozo de arrecife coralino de las Bahamas, donde capturó a todos los labros limpiadores que encontraba, así como las gambas que hacían lo mismo. La consecuencia fue evidente: la mayoría de los peces emigró, y los pocos especímenes que se quedaron, pronto presentaron lesiones infectadas en todo el cuerpo, principalmente en las aletas y al nivel de las branquias.

Las «estaciones de servicio» de limpieza suelen ser lugares muy curiosos. Peces de todas las especies acuden a ellas: ninguno se atreve (salvo raras excepciones) a atacar a los labros y sus semejantes, que se distinguen por sus brillantes colores. Pero hay más: en estos biotopos escogidos reina una cierta neutralidad. Especies tradicionalmente enfrentadas en otros sitios, en cuanto llegan aquí observan un comportamiento pacífico. Su actuación habitualmente agresiva se inhibe ante la perspectiva de una buena limpia.



# Los parásitos

El parasitismo es uno de los inventos de la naturaleza que en determinados aspectos nos parecen perversos, pero que son sobre todo muy sutiles. ¿Qué mejor medio de prosperar para una especie que hacerse mantener totalmente por otra? El parásito no necesita buscar el alimento: lo extrae directamente de los humores de su huésped. No tiene que preocuparse por encontrar refugio. El único peligro que corre es que muera aquel del que depende, pues entonces es probable que también él desaparezca.

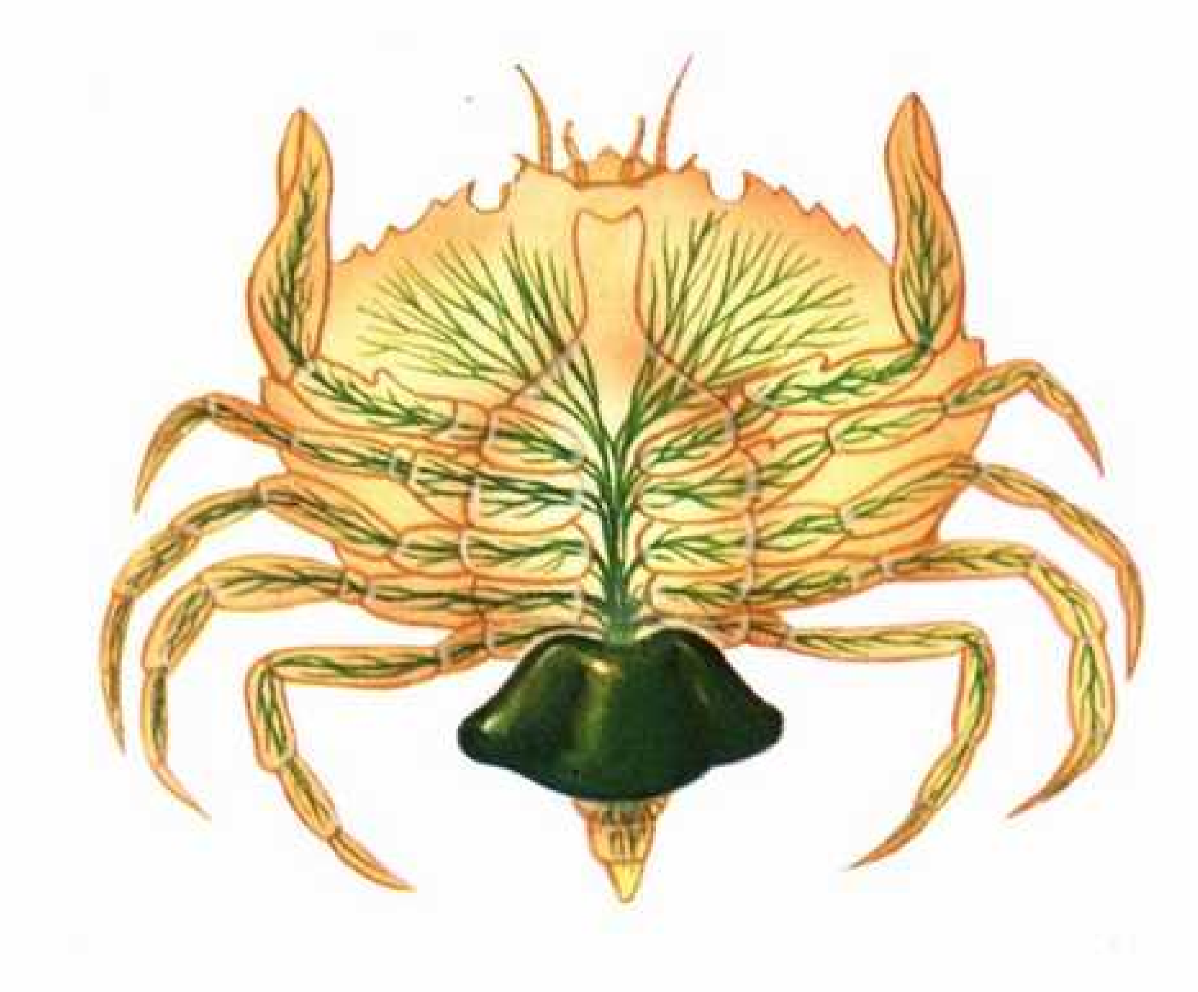
En los animales son muy frecuentes los parásitos entre los gusanos y los crustáceos. Entre los gusanos planos —o plantelmintos—, grupos enteros de especies viven a expensas de otros animales; entre los trematodos, muchos tienen varios huéspedes sucesivos diferentes, y en general una fase larvaria acuátitica (a menudo en agua dulce): *Diplozoon* parasita las branquias de los peces de río; la duela del hígado vive sucesivamente en el agua, en un pequeño caracol y en la oveja antes de parasitar al hombre; el *Schistosomum* de la bilharziosis pasa también por un pequeño gasterópodo antes de infestar a nuestros semejantes en las regiones tropicales; entre los cestodos, los gusanos solitarios, o tenias, son bien conocidos en el mundo entero.

El phylum de los gusanos redondos, o nematelmintos, abarca también gran cantidad de formas parásitas, tanto en la clase de los nematodos como en la de los gordiáceos. Entre los primeros, además de los áscaris y los oxiuros del intestino humano, se encuentran parásitos de los vegetales (como las anguílulas), y un gran número de parásitos de los animales.

Pero en el mar, las formas más extrañas de parasitismo se encuentran ciertamente en las filas de los crustáceos. Entre los copépodos, un gran número de especies viven fijas a la piel, las aletas o las branquias de los peces. Algunas se han modificado poco, y se contentan con succionar el mucus externo de sus huéspedes. Otras han transformado su boca en un sifón succionador, y bombean los humores de sus víctimas: pero mantienen el aspecto de crustáceos, y pueden pasar de uno a otro huésped sin problema. Otras más, finalmente, se fijan al animal desde el estadio larvario, y no lo abandonan ya más; su morfología, en el curso de su metamorfosis, se va modificando extraordinariamente respecto de la de los demás crustáceos; ya no tienen ni órganos de los sentidos, ni piezas bucales, ni tubo digestivo propios, sino que se encuentran directamente «conectados» a la circulación sanguínea de su huésped.

Con mucha frecuencia, los machos de estas especies permanecen enanos, y se fijan a las hembras a fin de que éstas dispongan de una reserva permanente de espermatozoides.





***Ocupantes y parásitos.*** *Ciertos animales viven sobre otros sin por eso perjudicarles: se comportan como simples ocupantes. Tal ocurre (en la página siguiente, abajo) con los gusanos espirógrafos posados sobre un coral cerebro de Neptuno, o también (en la misma página, al centro) con las colonias de* Botrillus *posadas sobre* Ciona. *Otras especies roban su sustancia a su huésped: son parásitas. Uno de los ejemplos de este género de vida es el del crustáceo cirrípedo saculina* (Sacculina), *cuyo cuerpo envía trompetillas bajo el caparazón de los cangrejos (arriba, y aquí a la izquierda; la saculina —a— está representada en verde). En la página siguiente, arriba a la izquierda:* Rebelula *sobre un crustáceo* Macrurus. *En la misma página, arriba, a la derecha: el crustáceo* Anilocra *parasitiza un pez* Ctenilabrus.

Abundan igualmente los parásitos entre los crustáceos cirrípedos: la mayoría viven entonces a expensas de los corales o de los equinodermos, pero llega a tanto la originalidad de uno de ellos, ¡que se ha instalado permanentemente bajo el manto de otro cirrípedo! Entre los cirrípedos se clasifican también a los rizocéfalos, parásitos de los crustáceos decápodos. El cuerpo de estos animales alcanza, por así decir, la máxima regresión posible: no está constituido sino por una red de filamentos que se parecen al micelio de un hongo; o bien, como en la saculina del cangrejo *(Sacculina carcini)*, el parásito tiene el aspecto de un tumor situado sobre el abdomen del decápodo.

Si las saculinas representan el estadio más radical de la evolución hacia el parasitismo, la clase de los crustáceos abarca también a muchos otros animales que han emprendido el mismo camino. Entre los isópodos, por ejemplo, *Epicarides* vive a costa de otros crustáceos, al igual que *Bopyriens, Leander, Cepion,* etc. (cada uno de los cuales con su especie-huésped particular), mientras que *Olencira praegustator* chupa la sangre de los peces clupeidos.

Las consecuencias de esta forma de obtener las sustancias de otros por parte de los parásitos varían mucho según las especies. Si el parásito es externo y ocasional, el huésped sufre un perjuicio menor. Pero si, por el contrario, el parásito es semiinterno o interno, y sobre todo permanente, el huésped se debilita rápidamente y muere.



# Compañeros y pasajeros

CUANDO, como en la fotografía de al lado, nos encontramos a un cangrejo ermitaño (paguro) en una concha de gasterópodo sobre la que se ha encaramado una anémona de mar (actinia), podríamos preguntarnos: ¿quién escogió primero la concha, el crustáceo o el celentéreo? ¿Y quién ha decidido vivir con el otro? Parece que el que toma la decisión con más frecuencia (pero no siempre) es el cangrejo ermitaño. Y hay más: cuando el paguro, que ha crecido y efectuado la muda, cambia de concha para estar más a gusto, traslada su actinia familiar al techo de su nueva casa.

Las especies de paguros y de anémonas que llevan una vida en común pertenecen a muy pocos géneros. Entre los primeros citados, se encuentran sobre todo representantes de la familia de los diogenidios. Entre las segundas, los géneros más frecuentes son *Calliactis, Paracalliactis* y *Adamsia.*

La mayoría de las asociaciones entre estos animales tienen como marco las aguas tropicales cálidas y bien iluminadas, con excepción (bastante conocida) de la pareja *Eupagurus prideauxi* y *Adamsia palliata,* que se encuentra comúnmente en el Mediterráneo y cerca de la orilla del Atlántico hasta Noruega. En numerosos biotopos de estos mares, nunca se ve a ambas especies separadas. ¡Tanta atracción ejerce sobre ellas la mutua asociación!

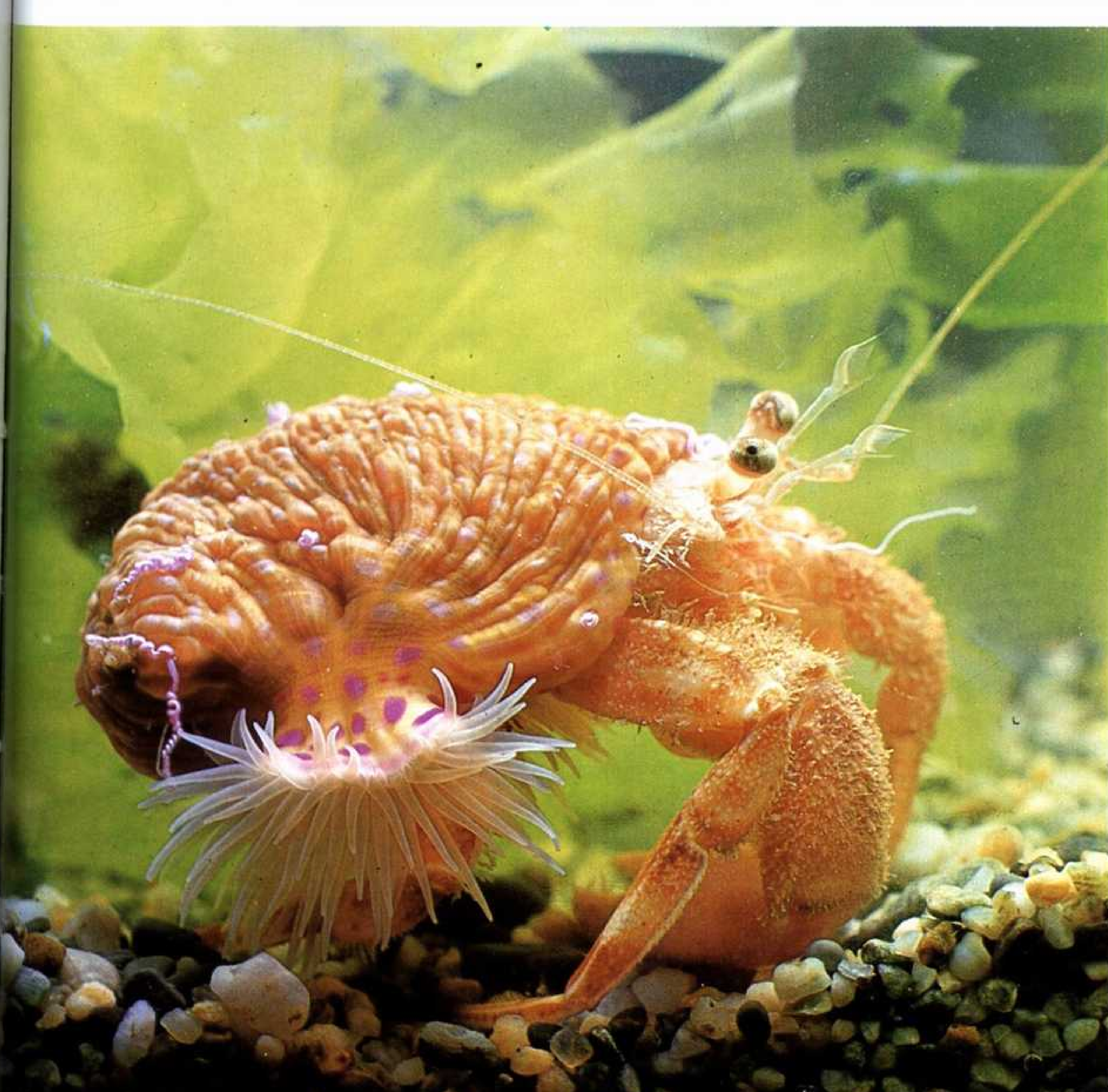




***Cambiar de montura...*** *La anémona de mar* Calliactis parasitica *vive en asociación con el cangrejo ermitaño: viaja pegada a la concha que al mismo crustáceo le sirve de morada. A veces (aquí arriba), dos anémonas de mar comparten el mismo vehículo. El dibujo de al lado, a la izquierda, muestra cómo* Calliactis *abandona su roca para trepar sobre una concha de bocina* Buccinum undatum. *Atraída por las moléculas químicas que se desprenden del periosto de la concha, la anémona se inclina hacia ella, y pega sus tentáculos, aferrándose de nuevo sólidamente por medio del pie. Cuando el cangrejo ermitaño cambia de concha, al crecer, hace todo lo posible por mantenerse en su compañía.*







***A los paguros les gusta la compañía...*** *Los gangrejos ermitaños tienen buenas pinzas y saben defenderse. Pero estos crustáceos están dotados de un abdomen prácticamente desprovisto de protección, blando y vulnerable. Para sobrevivir y escapar a los depredadores, necesitan absolutamente encontrar una concha de molusco gasterópodo donde alojarse. Pero esto no basta: las más de las veces se asocian con otros organismos que están muy alejados de ellos en el orden de la evolución. De este modo, llevan sobre sí bellotas de mar, esponjas, briozoos, etc. Naturalmente, sus asociados preferidos son las anémonas de mar. En principio, en el medio marino natural, cada especie de paguro establece relaciones mutualistas con una especie muy precisa de actinias. Así (en la página anterior),* Dardanus arrosor *sólo se alía con la anémona* Calliactis parasitica. Eupagurus prideauxi *tiene como compañera habitual a la actinia* Adamsia palliata *(arriba, la anémona con los tentáculos contraídos; aquí, a la izquierda, con los tentáculos desplegados). En acuario no ocurre lo mismo; el paguro no tiene posibilidad de elegir; toma la actinia que se le propone sin más... La finalidad del mutualismo entre paguros y actinias parece bastante clara: el cangrejo ermitaño se hace proteger por la anémona; en contrapartida, transporta al celentéreo; también es probable que la anémona de mar aproveche los restos de comida dejados por el crustáceo.*

La realización y perpetuación de asociación tan extraña requiere de comportamientos complejos por una y otra parte, que en rigor serían de esperar en el crustáceo, pero que apenas se pueden imaginar en un animal tan simple como la anémona de mar. Aunque, de una u otra manera, ésta necesita reconocer al paguro que la solicita, aceptar encaramarse sobre la concha que ocupa su futuro compañero; y, para ello, llevar a cabo difíciles movimientos. No se sabe gran cosa todavía sobre los estímulos que inducen a la anémona a actuar de esta manera.

Los paguros se comportan muy activamente ante las anémonas de mar. No sólo conservan celosamente la que tenían ya cuando cambian de alojamiento, sino que a veces buscan una segunda. El sistema nervioso del cangrejo ermitaño, aunque tan sumario como el de todos los artrópodos, está, no obstante, lo bastante desarrollado como para hacer posible conductas tan complejas. El de la actinia, prácticamente inexistente (o prácticamente difuso), plantea un irritante enigma a biólogos y etólogos. Forzoso es admitir, sin embargo, que «funciona», y bastante bien por cierto, a falta de toda otra explicación científica por nuestra parte.

Múltiples son las ventajas que los dos tipos de animales obtienen al cohabitar en común. El paguro obtiene mucho de esta asociación, y no es de sorprender que la busque febrilmente. La anémona de mar le ofrece ante todo protección pasiva: su grueso pie recubre una parte de la concha sobre la que se encuentra, y refuerza el «techo» de ese alojamiento; sucede que, al crecer, la anémona de mar ensancha la casa del paguro de modo que éste no tiene necesidad de cambiar cuando le toca mudar. En segundo lugar, la actinia está provista evidentemente (como todos los celentéreos cnidarios) de un penacho de tentáculos guarnecidos de células urticantes (cnidoblastos): los otros animales marinos, incluidos los eventuales depredadores del paguro, saben ya de la dolorosa picadura que estos latiguillos venenosos infligen, y se guardan muy mucho de acercárseles. Se ha comprobado *in situ* y en acuario que la actinia *Calliactis* protege así perfectamente al cangrejo peregrino *Dardanus* contra los ataques del pulpo común *Octopus vulgaris*, que es su mortal enemigo.

En cuanto a la actinia, se sirve del paguro como de un vehículo. Incapaz casi de moverse por sí misma, sus viajes a lomos de su aliado le permiten descubrir nuevos horizontes, es decir, nuevos lugares donde encontrar presas. Probablemente, aprovecha también los restos de comida del cangrejo ermitaño.

Otro animal especializado en el «autostop» submarino es la rémora *(Echeneis remora)*: este pez posee una aleta dorsal muy modificada, transformada en una larga ventosa, que utiliza para pegarse al cuerpo de un tiburón, de un atún, de una ballena o tortuga marina (o incluso al casco de una embarcación), y para hacerse pasear así cientos y cientos de millas por el mar. Pero, ¡nada de detener el curso de una galera, como creían los antiguos!

Interesante, también, es el caso del pez piloto *(Naucrates ductor)*: este animal de unos 30 centímetros de longitud, de color azul (con unas estrías verticales oscu-




***Los peces piloto y las rémoras.*** *Son animales que juegan el papel de comensales para las grandes especies marinas (tiburones, rayas, tortugas, etc.). Los peces piloto, de librea rayada verticalmente (en la página anterior, con un tiburón), no conducen a su enorme compañero hacia eventuales presas, como hasta hace poco se decía: simplemente les acompañan en sus incesantes viajes, y aprovechan los restos de sus comidas. Las rémoras (aquí arriba, con una raya manta gigantesca) tienen la aleta dorsal transformada en ventosa: se adhieren a los grandes animales, y se sirven esencialmente de ellos como potentes vehículos para viajar largo trecho sin cansarse... En este tipo de relaciones, una sola de las dos especies saca provecho de la vida en común.*

ras), acompaña de buen grado a tiburones y a gigantescas rayas en sus peregrinaciones submarinas. Nadando (contrariamente a la rémora, que se deja llevar), nunca abandona a su enorme compañero. Cuando ha elegido como camarada a un tiburón carnívoro, está atento para no ponerse delante de su boca. Precaución que no adopta cuando viaja en compañía de un tiburón peregrino (consumidor de plancton) o con una raya manta: se ha observado, incluso, que en caso de que se encuentren en peligro se refugian en la boca de las mantas.

No se entiende muy bien qué interés pueden tener los grandes animales en este tipo de asociación. Se ha dicho que los peces piloto les «guían» a las fuentes de alimento; tal afirmación en verdad es poco probable.

Por el contrario, el beneficio es evidente para los peces piloto: por una parte, la compañía de los grandes carniceros o de las mantas gigantes los protege contra los demás depredadores; por otra parte, aprovechan los restos de comida de los gigantes que acompañan.



# Cómo volver a casa

TODOS los animales deben conseguir un territorio en el medio en que viven. Cosa no tan fácil a veces. Las especies de pequeño tamaño escogen en ocasiones vivir en el interior de la concha, del caparazón o del cuerpo de especies mayores. Es una forma de alojarse al menor costo, beneficiándose de las defensas enérgicas de su huésped.

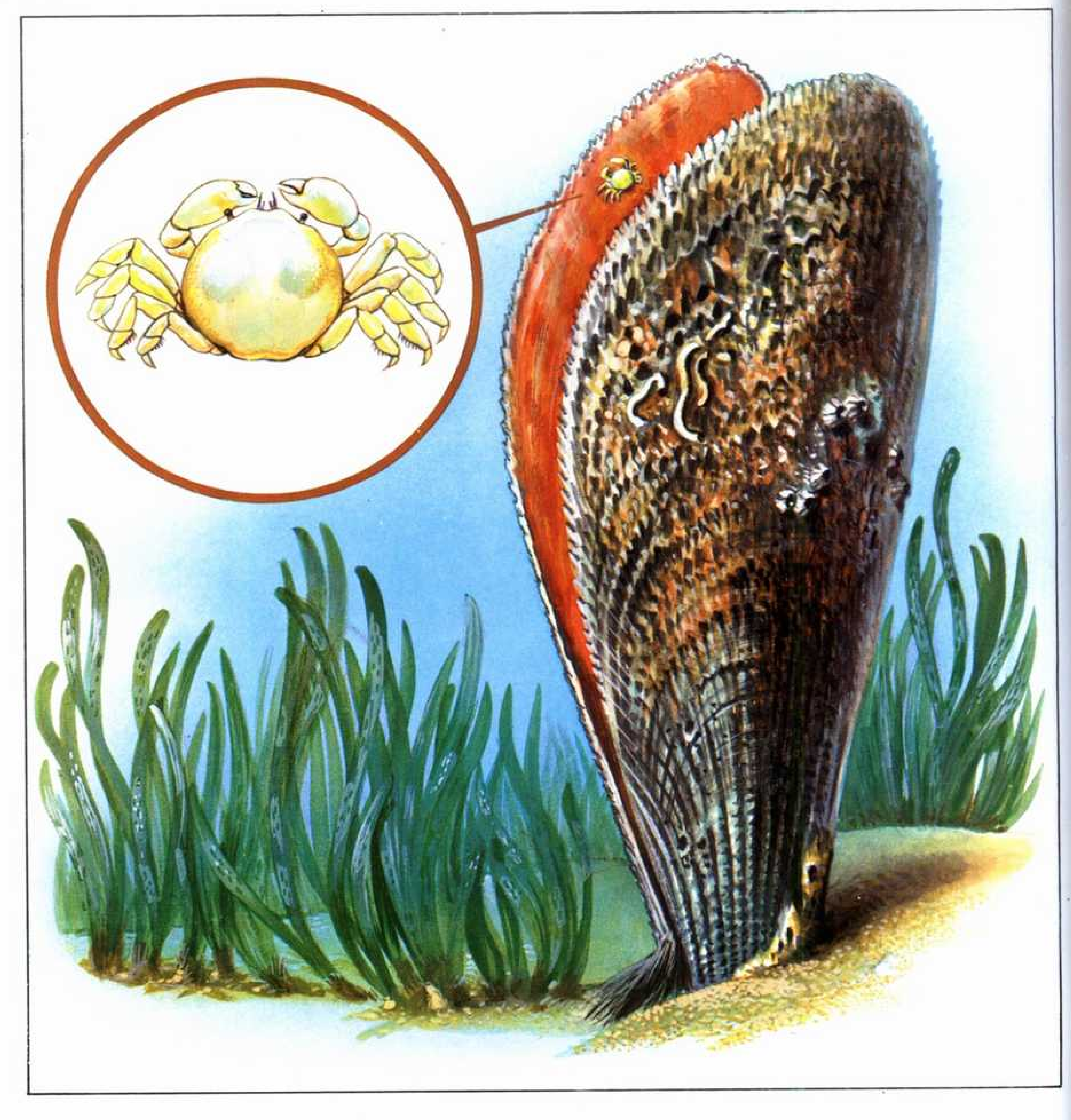
Las pequeñas gambas negras del género *Bataeus* habitan así en el interior de la concha de los gasterópodos marinos del género *Haliotis* (oreja de mar), o en la base de las temibles púas de los erizos de mar. Los minúsculos cangrejos del género *Pinnoteres* residen en el hondón de conchas de los bivalvos o de tubos de anélidos poliquetos sedentarios. Pero tanto las gambas *Bataeus* como los cangrejos *Pinnoteres* se alejan de su refugio por la noche para buscar comida: recorren unos dos metros, distancia verdaderamente considerable para ellos. Y parece que no tienen mayor dificultad en encontrar su refugio.

Reconocer y localizar a su huésped es vital para esta especie de advenedizos. De hecho, el reconocimiento se basa en tres mecanismos sensoriales: fotorrecepción, mecanorrecepción, quimiorrecepción. Lo primero es la determinación química, que permite al pequeño animal localizar a distancia a la especie grande que tiene por morada. Cuando la gamba o el cangrejo se acercan a su alojamiento viviente, entran en acción las señales visuales. Finalmente, los órganos del tacto entran también en actividad.

Los mensajes químicos son sumamente importantes para el conjunto de las especies marinas. Son ellos los que mantienen una especie de cohesión entre los animales de un mismo ecosistema. Juegan así un papel esencial en las relaciones de comensalismo, de mutualismo y de simbiosis. En pruebas de laboratorio se ha puesto de manifiesto su eficacia: para ello, se ha empleado un material experimental muy sencillo, compuesto de un tubo en forma de Y. Se sitúa al animal cuyo olfato se quiere probar a la entrada del «tronco» de la Y, y al animal emisor de secreciones químicas en la extremidad de una de las ramas. Se comprueba rápidamente que el animal sujeto del experimento, al avanzar, no escoge una de las dos ramas de la horquilla al azar, sino que se dirige sistemáticamente hacia la fuente olorosa. Naturalmente, los biólogos han perfeccionado este experimento clásico de mil maneras diferentes. Colocan, por ejemplo, a dos especies de *Haliotis* o de erizos de mar, una en cada rama de la Y, para determinar cuál prefiere *Bataeus*. Se ha podido saber qué tipo de sustancia hace reaccionar al pequeño crustáceo. En determinados casos se ha logrado incluso sintetizar en el laboratorio esta molécula. En muchas especies «alquiladas» son probablemente bastante fuertes los estímulos visuales; incluso en las que tienen unos ojos muy rudimentarios. Ciertamente, en los invertebrados no se da un reconocimiento formal de huésped, ni *a fortiori* percepción de los colores. A las gambas y los pequeños cangrejos sólo les influyen las variaciones generales de la intensidad luminosa. Cuando llegan a las inmediaciones de su huésped, hacia el que les atrae su sentido químico, se precipitan a la parte más oscura de éste.

El sentido del tacto interviene cuando se trata de encontrar exactamente el lugar que conviene en el interior del alojamiento viviente. La pequeña gamba o el cangrejo exploran su casa, tanteando con gran cuidado. En este campo, es probable que juegue un cierto papel el aprendizaje. Se ha hecho notar, en efecto, que nuevos «vecinos» de un gasterópodo, de un erizo de mar o de un bivalvo parecen vacilar cuando llegan por primera o segunda vez a su morada. Por el contrario, cuando habitan desde hace tiempo el mismo caparazón o la misma concha, se dirigen derechamente hacia su objetivo.

Podríamos preguntarnos por qué el huésped se deja invadir de esta suerte. En general, dispone de suficientes medios que le permitirían librarse de los intrusos (¡aunque éstos a su vez cuenten con excelentes órganos para incrustarse!). Se supone que los locatarios —como, por lo demás, los verdaderos parásitos— saben hacerse aceptar por el organismo por medio de tretas bioquímicas; segregan moléculas olorosas que «agradan» a su huésped, o que adormecen sus defensas, o incluso que son capaces de inhibir sus reacciones normales de rechazo. Pero tampoco en este campo se sabe gran cosa todavía.



***Un útil «vecino».** Los pequeños cangrejos del género* Pinnoteres *escogen domicilio en el interior de la concha de ciertos moluscos bivalvos (ostras, conchas de peregrino o, como aquí, nacras). Estos advenedizos reciben no sólo albergue por parte de su huésped, sino que se benefician también de las migajas de su comida y de las corrientes de agua que origina al abrir y cerrar sus valvas. En contrapartida, se piensa que los cangrejos proporcionan aviso a los moluscos cuando se acerca un peligro.*

## REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Michael Abbey. Acquario di Napoli. American Telephone and Telegraph Compagny. Archivio P2. Piero Baguzzy/Fabbri. S. Barghoorn. Sebastian Bauer et Bill Wood. Bedford Institute of Oceanography. Luciano Bolzoni. Cambridge Scientific Instrument Limited. Chaumeton-Jacana. B. M. Cita. Paolo Curto/Marka. P. M. David. Pierfranco Dilenge. David Doubilet. Alexander Dragovitch. Harold E. Edgerton. Carlo Fabiani. Rhodes W. Fairbridge. Il Gabbiano. Maurizio Gaetani. E. Gaino. G. S. Giacomelli. S. Chiara, Napoli. Al Giddings Sea Films. Perry W. Gilbert. Giusto. Aldo Guerzoni. Phillip J. Halicki. Joel W. Hedgpeth. Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University. L'Aquila. G. Mairani. A. Margiocco. Marineland of Florida. Giuseppe Mazza. Museo Civico di Storia Naturale-Génova. Tullio Mondi. Nasa. National Science Foundation. Naval Photographic Center. Naval Undersea Research and Developement Center. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Christian Petron. Guido Pichetti. Silvio Pirovano. Folco Quilici. Bruno Rizzato. Bruce Robson. Carl Roessler. Jeff Rotman. Scripps Institution of Oceanography. Romeo Spadoni. Anne Wertheim. Western Marine Lab. D. P. Wilson. Woods Hole Oceanographic. Inst. Woods Hole, MA., USA.

## ILUSTRADORES

Giovanna Collarini. Santo Chito. Massimo Demma. Alessandro Fedini. Egio Giglioli. Gabriele Pozzi. Prograf S.N.C. Fernando Russo. Piergiorgio Sirtori. Tiger Tateishi. Masayoshi Yamamoto.

COUSTEAU

12

ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio